Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Laboratorieundervisningen 73

Konferanse, faste stoffer 77

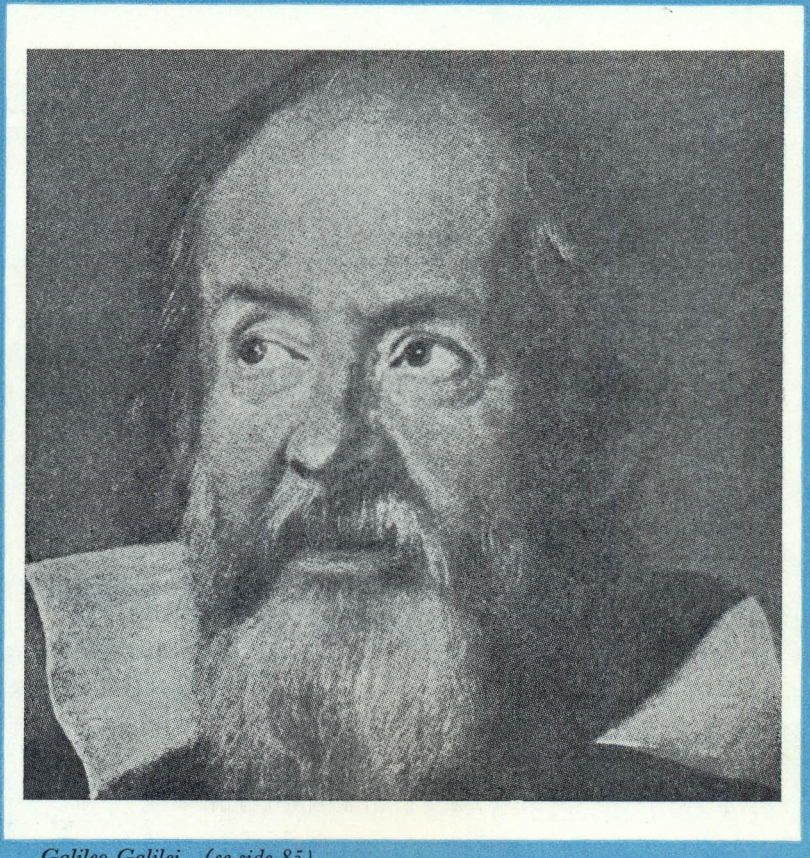
Polariserte langsomme nøytroner 78

AHA-spalten 84

Galilei og Det Fjerne Østen 85

Plasmatilstanden, del 2 87

Bøker 94



Galileo Galilei *(se side 85)*

Nr. 4 - 1964
26. årgang

Vi er enerepresentant i Norge for disse verdenskjente firmaer:

HEWLETT - PACKARD

leverer måleutstyr fra DC til R-bånd.

RHODE & SCHWARZ

leverer HF-, VHF-kommunikasjonsutstyr samt måleinstrumenter.

TEKTRONIX INC.

leverer oscilloskop og kalibreringsutstyr.

Kontakt oss:

MORGENSTIERNE & CO

INGENIØRFIRMA

WESSELS GATE 6, OSLO — TELEFON 42 99 93

STEDET FOR ELEKTRONISKE KOMPONENTER OG INSTRUMENTER TIL INDUSTRI OG FORSKNING

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 4 - 1964

Redaktør: HAAKON OLSEN

26. årgang

Noen betraktninger om laboratorieundervisningens stilling i fysikkstudiet

Wilhelm Løchstøer

Innledning

Når spørsmålet om undervisningsformer i fysikkstudiet bringes på bane, er det stort sett enighet om at laboratorieundervisning i en eller annen form bør inngå som en del av studiet. Om mål, midler og omfang kan det imidlertid være meget forskjellige meninger.

Rent faglig eller pensummessig inntar laboratorieundervisningen en nokså beskjeden plass, og betraktes ofte som et anhang til den teoretiske undervisning. For mange studenter vil øvelsene fortone seg som en prosess de må gjennomgå for å få adgangsbillett til eksamenssalen, og i tunge stunder kan kanskje lærerne synes de bare gjør noe som står i reglementet. Laboratorieøvelsenes viktighet synes å komme tydeligst frem i forbindelse med begrensning av studenttilgangen. Da er begrenset kapasitet i studentlaboratoriene et dominerende argument.

Økonomisk og arbeidsmessig inntar imidlertid laboratorieundervisningen en dominerende plass i fysikkstudiet. Det er investert betydelige beløp i lokaler og utstyr, øvelsene representerer ikke ubetydelige løpende utgifter både til personell og materiell, og sist men ikke minst krever de meget av studentenes og veiledernes tid. Et billede av arbeidets omfang får man av det faktum at det på de obligatoriske øvelseslaboratorier ved Fysisk institutt A–B på Blindern i tiden fra januar til november i år er skrevet, rettet og kommentert noe over 14 000 laboratorierapporter. De sporadiske «tidsstudier» vi har foretatt viser at mange studenter bruker avskrekkende lang tid på deler av laboratoriearbeidet. Det synes derfor som det er all grunn til både ut fra faglige, pedagogiske og økonomiske hensyn å vie praktikumundervisningen, såvel dens svakheter som dens oppgaver og muligheter, en viss oppmerksomhet.

Problemene med laboratorieøvelser i fysikk synes forresten å være av internasjonalt format og ikke noe helt lokalt fenomen. Både gjennom publikasjoner, og enn mer gjennom personlige kontakter, synes å fremgå at både de generelle problemer og de daglige små og store bekymringer stort sett er de samme. Om man skal ta dette som en trøst eller det motsatte, kan jo være et spørsmål. Det beste er vel å ta det som en utfordring.

Hvor trykker skoen?

Det kan neppe være tvil om at laboratorieundervisningen på mange måter og for mange henger litt i løse luften. Årsakene til dette er vel mange. Her vil jeg peke på to momenter som jeg tror spiller en nokså stor rolle, det ene temmelig hårdkokt nyttepreget, det andre av mer prinsipiell art.

Selv om en student er aldri så interessert i fysikk som fag, vil naturlig det nærmeste mål for hans arbeid være å ta eksamen, og helst med en god karakter. Det gjelder å kunne pensum. Riktignok er laboratorieøvelsene også pensum, men vurdert ut fra en snever eksamensmessig synsvinkel om «lønnsomhet» vil nok meget av laboratoriearbeidet måtte regne med å få lav prioritet. Også i det daglige arbeid spiller kanskje dette med lønnsomhet en viss rolle. I og med at det ikke er vanlig å sette karakterer for prestasjonene, men at den offisielle gradering bare har to grader — godkjent

Cand. real. Wilhelm Løchstøer er universitetslektor ved Universitetet i Oslo, Blindern.

eller ikke godkjent — vil mange kanskje ha følelsen av at de ikke «har noe igjen for» en fremragende prestasjon, all mulig anerkjennende omtale til tross. Skal laboratorieundervisningen ha en appell ut fra mer kortsiktige vurderinger, som vi vel må regne med vil spille en viss rolle for alle studenter, er det neppe tvil om at den må gi noe mer «kontant» utbytte.

Det annet moment jeg vil trekke frem har et atskillig videre perspektiv og gjelder selve målsettingen for arbeidet i studentlaboratoriene. Kan vi si at vi har denne klar? Eller må vi erkjenne at «labbens» noe svevende tilværelse til en viss grad beror på at vi overfor studentene, kanskje også overfor oss selv, ikke makter eller bryr oss med å formulere en tilstrekkelig klar og enkel målsetting og et program som kan gi en linje å arbeide etter. Uten et mål vil alt arbeid virke ørkesløst, mens et klart program kan gi mening og innhold til selv nokså triviell virksomhet. Derfor tror jeg det er viktig at man ikke bare formulerer en målsetting som man selv kan lede arbeidet etter, men at denne målsetting også presenteres for studentene, at den erkjennes, og selvfølgelig helst også aksepteres, som et arbeidsprogram. Da har man et grunnlag for å plassere detaljarbeider i en større sammenheng, og mange av de lydelig eller stumt uttalte spørsmål «hvorfor dette?» vil få sitt svar av seg selv.

Dette er ikke så å forstå at en formulert målsetting, så å si en formålsparagraf, er en universalløsning på de mange problemer som eksisterer. Tilbake står bl. a. spørsmålet om på hvilken måte man vil søke å nå det mål man setter. Dette er da et spørsmål om laboratorieundervisningens *form*, og ikke så meget om dens *stilling* i studiet. Selv om temaet for disse betraktninger er laboratorieundervisningens stilling, kan det i tilknytning til «skotrykket» være fristende å knytte noen bemerkninger til et hyppig gjentatt ankepunkt som angår laboratorieundervisningens form. Det reises ofte kritikk hvor laboratorieøvelsene blir karakterisert både som uvitenskapelige og antivitenskapelige, fordi formålet er «å få riktig svar». Dette er da en kritikk som må rettes mot all undervisning som benytter øvelsesoppgaver som hjelpemiddel. Ved øvelsesoppgaver, det være seg i den teoretiske undervisning eller i laboratoriet, er det ikke resultatet som sådant som i første rekke interesserer. Resultatet har her særlig interesse som en kontroll på hvorvidt metode og hjelpemidler er riktig brukt. Utbyttet av arbeider av denne art er derfor i stor grad avhengig av innstillingen hos utøveren. En annen sak er at øvelsesoppgaver kan lages mer eller mindre spennende og realistiske, og at mange øvelser nok må tåle betegnelsen «kjedelig». Heri ligger utvilsomt en utfordring til dem som er ansvarlig for laboratorieøvelsene, uten at dette må oppfattes som en oppfordring til å gjøre laboratoriet til den rene underholdningsavdeling.

Den generelle målsetting

I de ikke få diskusjoner og samtaler jeg etterhvert har hatt med alle kategorier av interesserte, fra studenter til professorer, fra folk i rent forskningsarbeid til dem i ren undervisningsvirksomhet, med folk som har arbeidet i undervisningslaboratorier og slike som ikke har gjort det, har det vært formulert mange og forskjellige enkeltmål for arbeidet i øvelseslaboratoriene. Det har variert fra det mest detaljerte pensumdyrkeri over nokså snevre ønsker om spesialferdigheter til temmelig vage forestillinger om laboratoriet som en slags stående buffet hvor studentene forsyner seg etter smak og behag. En mer klar filosofi for målsettingen synes jeg sjeldnere kommer til orde. Den samme følelsen sitter jeg også med etter å ha lest det som fra tid til annen publiseres om dette tema.

Ofte blir det uttalt at en vesentlig oppgave for laboratorieundervisningen må være å utdype forståelsen og lette tilegnelsen av det teoretiske stoff, eller pensum, som det ofte kalles. Det legges vekt på at laboratorieøvelsene skal «følge pensum». Personlig er jeg tilbøyelig til å tillegge dette moment en mindre betydning, både fordi det er et for snevert mål som neppe berettiger det store arbeid som faktisk ligger i laboratorieundervisningen, og fordi jeg tror at laboratorieøvelser, og spesielt på det helt elementære plan, ikke er særlig egnet til en slik lettelse av tilegnelsen. Godt arrangerte og kommenterte demonstrasjonsforsøk, gjerne for mindre grupper, tror jeg her vil være bedre. Når studenter, uøvet med apparatur og instrumenter, skal utføre slike forsøk, vil selve de grunnleggende fenomener lett komme i bakgrunnen for det å få tingene til å gå. Det blir lett koblinger og bruksanvisninger som legger beslag på hele oppmerksomheten. Teoriens idealiserte og systematiske lærebygning tror jeg i grunnen man like godt tilegner seg og «forstår» uten den mangfoldighet av «uvedkommende» fe-

nomener som man oftest vil stå overfor i virkeligheten. Kanskje vil imidlertid dette tilsynelatende virvar av fenomener man møter når man vil gjøre et eksperiment, (man kan ikke som i teorien uten videre se bort fra f. eks. friksjon, varmetap og liknende ubehageligheter), kunne bidra til å belyse teoriens betydning og dens nødvendighet for systematiske og målbevisste iakttakelser. Selv om laboratorieøvelsene ikke vil bety så meget for tilegnelsen av teorien som sådan, vil de kunne bidra vesentlig til klargjøring av teoriens stilling vis a vis eksperimentet.

Ut fra dette er det da av mindre betydning at laboratorieøvelsene «følger pensum» så å si fra uke til uke. Derimot er det sikkert gunstig at laboratorieøvelsene følger pensum i den forstand at det teoretiske grunnlag for de eksperimenter som utføres er kjent på forhånd. Da kan man lettere legge vekt på et annet moment som jeg tror laboratorieundervisningen bevisst bør legge sterk vekt på, nemlig «oversettelsen» fra teoriens formelle beskrivelse til konkrete obseverbare fenomener, fra teoriens skjema til laboratoriets forsøksoppstilling. Min erfaring er at et teoretisk resultat, en formel, et ledd i en likning, altfor ofte bare oppfattes som et matematisk symbol, og ikke også som en rasjonell beskrivelse av noe «virkelig».

Hvis man vil søke å plasere laboratorieundervisningen i fysikkstudiet og formulere en målsetting både i store linjer og i detaljer, synes det meg naturlig å ta utgangspunkt i den gjensidige avhengighet og det fascinerende samspill det er mellom teori og eksperiment i fysikken, mellom teoriens abstrakte, idealiserte og generaliserte beskrivelse av en «uvirkelig» verden, og eksperimentets ordnede, kvantitative iakttakelser av konkrete enkeltfenomener i virkelighetens verden. En poengtering av dette kommer man ikke utenom dersom man ønsker at fysikkstudiet som sådant ikke bare skal gi visse detaljkunnskaper, men også gi et billede av fysikken som fag og vitenskap. Ut fra et slikt syn på fysikkstudiet vil laboratorieundervisningen naturlig inngå som en del av studiet parallelt med den teoretiske og med en parallell målsetting, nemlig dels å gi en alminnelig orientering i eksperimentalfysikk i videste forstand, dels å bibringe studentene visse grunnleggende konkrete kunnskaper, og endelig å gi en viss øvelse og ferdighet i å bruke de mest alminnelige hjelpemidler. Litt forenklet kan man si at man i laboratorieundervisningen bør få en innføring i eksperimentets språk, på tilsvarende måte som man får det i teoriens. Eksperimentalundervisning e. l. ville da være en mer passende betegnelse enn laboratorieundervisning. For eksperimentalfysikk er nå ikke engang bare å sitte i et laboratorium og skru på knotter, lese av visere og skrive tall i kolonner. Dens funksjon er, kort formulert, ut fra en hypotese, teori, å stille spørsmål og få svar gjennom ordnede iakttakelser. Denne virksomhet, fra et spørsmål er stillet til et svar er interpretert, vurdert og gitt form, omfatter og forutsetter kjennskap til mange momenter, fra det rent filosofiske og begrepsmessige, over teoretisk og teknisk kunnskap og innsikt, til alminnelige praktiske ferdigheter og «fiff».

Med den målsetting å gi orientering og kunnskap innen dette vide felt står man overfor en oppgave med både perspektiv og appell. Laboratorieundervisningen, eller om man vil, eksperimentalundervisningen, får sin selvstendige og klart definerte plass i studiet, og man kan si mer i overensstemmelse med den stilling og funksjon eksperimentalfysikken har i virkeligheten. Undervisningen får sin selvstendige oppgave, og man kan legge opp og følge en linje i arbeidet som gir muligheter for utvikling og progresjon slik at man «kommer videre». Og tross denne tilsynelatende tendens til emansipasjon tror jeg at man med den generelle målsetting for øyet på mange måter vil få en både bedre og riktigere kontakt med teorien, enn om laboratorieundervisningen bare diltet etter den teoretiske fra side til side i en lærebok.

Detaljmålsetting

Dersom denne generelle målsetting godtas, vil forsåvidt praktikumundervisningens *stilling* i studiet være nokså klar. Et annet spørsmål er hvor stor plass den skal få. Her kommer en rekke momenter til som jeg ikke vil ta opp her. Men det er klart at resultatet av slike vurderinger vil bety meget for den mer detaljerte målsetting. Her, som ved all annen undervisning, må det gjøres et utvalg, og forutsetninger og muligheter må vurderes vis a vis de generelle ønskemål. Man må stille seg det spørsmål om på hvilke felter og på hvilken måte man innen den gitte ramme kan bidra til å nærme seg målet, og hva ønsker vi og håper vi å kunne oppnå med studentenes og eget arbeid? Noe brutalt byråkratisk kunne vi formulere det slik at hvis vi kunne kopiere og arkivere inngangsstudentene og i tidens fylde sammenlikne dem med utgangsstuden-

tene, på hvilken måte ønsker vi at de siste skulle skille seg fra de første? En noenlunde fullstendig diskusjon av disse spørsmål vil her føre alt for langt, men noen spredte bemerkninger og synspunkter kan vel finne plass.

Det ble i «formålsparagrafen» nevnt at praktikumundervisningen bør gi en alminnelig orientering i eksperimentalfysikk.

Det hevdes ofte at en slik orientering får studentene vesentlig ved det å arbeide i et laboratorium, håndtere instrumenter, ja kanskje mye ved bare å gå ut og inn av et laboratorium istendefor utelukkende å ha sin gang mellom auditorier og lesesaler. Det kan nok være mye riktig i dette, men man må vokte seg vel for å la dette bli en sovepute ut fra den betraktning at «det blir alltid noe av det». Tvert i mot tror jeg at det moment som er nevnt bør mane både til ansvar og våkenhet. Studentenes holdning og innstilling vil vel, selv om den til en viss grad er preget av jargong og «arv» fra medstudenter, i stor utstrekning preges av tonen i laboratoriet. Denne vil i første rekke avhenge av veilederen. Derfor er hans holdning og bakgrunn av stor betydning for dette mer udefinerbare utbytte av studentenes laboratoriearbeid. At erfarne forskere og lærere her vil kunne yte vesentlige bidrag i tillegg til den også verdifulle ungdommelige entusiasme som nå ofte preger laboratorieveiledningen, er etter min mening hevet over tvil.

Selv om denne «av seg selv»-påvirkning sikkert betyr noe for den generelle orientering, tror jeg at man også mer aktivt og bevisst bør vie dette punkt oppmerksomhet, dels fordi begrepet eksperiment av studenten stort sett får et altfor snevert innhold, dels fordi en oversikt av denne art gjør det lettere å plassere enkeltarbeider i en sammenheng. Det kan defor være grunn til å legge stor vekt på de nyss nevnte «mange momenter» innen den eksperimentelle virksomhet. Det bør bli helt klart at et eksperiment er en mangfoldig affære hvis komponenter i grove trekk kan summeres slik:

Formulering av problemstilling
Dette vil ofte være en rent «teoretisk» abstraherende virksomhet, som oftest i liten grad er gjenstand for egentlig undervisning eller læring.

Prinsippiell konstruksjon av eksperimentet
Hvorledes vil jeg spørre, og på hvilken måte ønsker jeg eller kan jeg få et svar? Hva må kontrolleres, hva må observeres? Vi kan kanskje kalle dette en oversettelse fra et symbolsk tankespråk til et konkret iakttakelsesspråk.

Teknisk konstruksjon av eksperimentet
Valg av måleutstyr og materialer, dimensjonering og tilpassing av de enkelte komponenter, formulering av spesifikasjoner osv. osv. Kort sagt en virksomhet som krever atskillig både teoretisk, teknisk og teknologisk innsikt.

Planlegging av målinger ut fra måleteoretiske betraktninger
Usikkerhetsoverslag, vurdering av krav til enkeltmålinger, vurdering av korreksjoner, toleranser etc. En «teoretisk» virksomhet som imidlertid i stor utstrekning må basere seg på erfaring om måling i sin alminnelighet.

Etablering av en egnet forsøksoppstilling i laboratoriet
Planlegging av målinger ut fra praktiske hensyn til rasjonell arbeidsmåte og sikker arbeidsrutine.

Utførelse av målinger og observasjoner, registrering, ordning og behandling av data
Her vil ofte øvelser og rutinemessig ferdighet spille en rolle.

Vurdering og interpretasjon av resultater
Hva kan resultatet si og hva kan det ikke si. Hvor pålitelig er det? Usikkerhetsregning, feilteori.

Denne oversikt som ikke er noen uttømmende analyse kan kanskje bidra til forståelsen av hva jeg mener når jeg vil fremheve at et viktig detaljmål for praktikumundervisningen bør være å gi studentene en oversikt over disse forskjellige delvirksomheter, som ved enkle eksperimenter kanskje helt og holdent utføres av *en* person nærmest som håndarbeid, men i mere kompliserte eksperimenter bare kan utføres ved samarbeid mellom forskjellige spesialister.

Det er klart at en elementær laboratorieundervisning ikke kan gape over alle disse momenter på en gang. Meget av det som er nevnt er også av en slik karakter at det ikke uten videre er gjenstand for undervisning i

den forstand vi her tenker på, men bare kan erverves gjennom personlige erfaringer.

Ser man på formålsparagrafens annen del om konkrete kunnskaper, kan det selvfølgelig diskuteres hva som er viktigst og hva som eventuelt kan konkretiseres, hva vi kan lage pensum av. Et brukbart utgangspunkt synes for meg å være det forhold at eksperimenter i fysikk på en eller annen måte går ut på å utføre en måling. Det vil derfor være rimelig å la måleteori og måleteknikk få en bred plass i den innledende eksperimentalundervisning. Dette stoff er både av fundamental betydning for eksperimentell virksomhet på alle felter, og er også av en slik art at det lett kan avgrenses som konkret kunnskapsstoff.

På den teoretiske siden tror jeg således at det ligger en stor oppgave i å gjøre klart at et tall som resultat av en måling er noe annet enn et tall som begrep, og i tilknytning hertil å innarbeide det som med et stikkord kan kalles usikkerhetsregning i dens mange avskygninger.

På den tekniske siden bør en systematisk presentasjon av vanlige instrumenter og metoder være et viktig moment. Sammenliknet med den teoretiske undervisning kommer denne del av praktikumundervisningen i samme stilling som kjennskap til og ferdighet i å håndtere det matematiske apparat. For det daglige arbeid på dette felt kan det kanskje være lite tilfredsstillende at studentene rent teknisk har så meget bedre forutsetninger innenfor det teoretiske arbeid. Mye av det måletekniske stoff må nå ligge på et nivå som sammenliknet med det «teoretisk-tekniske» nærmest svarer til å multiplisere brøker og løse enkle likninger.

Slutning

Disse betraktninger har vesentlig beskjeftiget seg med de mål man bør stille for virksomheten i undervisningslaboratoriene. Uklarheter på dette punkt gjør ofte at alle prisverdige forsøk på forbedringer blir hengende i løse luften, og man får selv ofte inntrykk av å løpe omkring på en stor slette uten å vite hvor man skal.

Mange av de konkrete problemer ved laboratoriene knytter seg imidlertid til hvilken form arbeidet skal få, hvilke emner som skal velges, hva slags instrumenter som skal brukes, osv. Dette er for en stor del pedagogiske og praktiske spørsmål, som nok kan være verdt en inngående diskusjon. Men forutsetningen for en fruktbar diskusjon av dette er at målsettingen er klar. Disse linjer er ment som et bidrag til denne generelle diskusjon.

Konferanse i Faste Stoffers Fysikk.

Fysisk Institutt A, Universitetet i Oslo, arrangerer i Norsk Fysisk Selskaps regi en nordisk konferanse i faste stoffers fysikk på Rondane Høyfjellshotell ved Otta i uken 4.–11. januar 1965. Tiltaket har møtt stor interesse, og det har vært nødvendig å begrense deltakerantallet, som blir ca. 140, omtrent likt fordelt på Sverige, Danmark, Finland og Norge.

Bidrag fra Norsk Fysisk Selskap, flere industriselskaper, N.A.V.F. og Kirkedepartementet, etter anbefaling fra Norsk Kulturkommisjon, dekker utgiftene til arrangement og gjesteforelesere, så det har ikke vært nødvendig å kreve noen deltakerkontingent. Deltakerne må selv sørge for utgiftene til reise og opphold.

Konferansens hovedtemaer vil være

1. Fononer. Elektroner. Magnetisme.
2. Halvledere. (Ikke elektroniske anvendelser) og
3. Krystallfeil. Mikrostruktur.

Som utenlandske gjesteforelesere har vi sikret oss professor G. Busch, Zürich, som vil snakke om «Electron Emission from Semiconductors», professor P. G. de Gennes, Paris, som vil snakke om «Recent Progress in Superconductor Physics» og Dr. A. Howie, Cambridge, som vil gi en oversikt «Survey of Recent Results on Microstructure of Metals».

Som det fremgår blir konferansen meget bred i faglig henseende. Vi har hatt som en av hensiktene med denne første konferansen å få samlet representanter fra de forskjellige forskningsgrupper innen faste stoffers fysikk og få diskutert felles problemer, så som hva som bør gjøres i fremtiden for å styrke det felles miljø, om det vil bli behov for faglig mer avgrensede konferanser innen faste stoffers fysikk, etc.

Jens Lothe.

Polariserte langsomme nøytroner og deres bruk innen de faste stoffers fysikk

Olav Steinsvoll

1. *Hva er polariserte nøytroner?*

I atomreaktorene produseres store mengder nøytroner ved den kjedereaksjonen som holder energiutviklingen i gang. Nøytronene som blir frigjort ved fisjon av urankjernene i brenselselementene, diffunderer omkring i tungtvannsmoderatoren og kommer i termisk likevekt med denne. Nøytronfysikerne vil helst utføre sine forsøk med nøytronene utenfor reaktoren, og nøytronene blir derfor ekstrahert fra moderatoren ved hjelp av hull som går fra reaktortanken, gjennom betongskjermen og ut til reaktorhallen. Her kan fysikerne stille opp sine apparater. Ved å stille en prøve, t. d. en magnetisk krystall, i nøytronstrålen og studere hvordan prøven avbøyer og modifiserer den innkommende nøytronstrålen, kan en finne krystallens oppbygging og plasseringen og innretningen av de magnetiske momenter inne i krystallen. Men foruten å studere krystallens statiske egenskaper, kan en også bruke nøytronspredning som hjelpemiddel til å studere krystallens dynamiske egenskaper, d. v. s. finne ut hvordan atomene vibrerer og hvordan spinneretningene fluktuerer.

Når en skal gjennomføre en strukturundersøkelse, må en kjenne de elementære vekselvirkninger mellom nøytronene og de enkelte atomer. Denne vekselvirkning kan være to slag:

1. Nøytronet kan bli spredt av atomet ved et sammenstøt med kjernen i atomet.
2. Nøytronet kan ses på som en liten magnet. Det vil derfor kunne tre i vekselvirkning med et eventuelt magnetisk moment hos atomet. I dette tilfellet vil spredningen fra atomet være avhengig av størrelsen og fordelingen av magnetisk moment over atomet. Nøytronets spinn er motsatt rettet av dets magnetiske moment.

Når nøytronstrålen kommer ut fra reaktoren vil nøytronenes spinn (og derved også deres magnetiske moment) peke i alle retninger, men når nøytronene kommer inn i et magnetisk felt, vil momentene rette seg inn parallelt eller antiparallelt til feltet.

I en *upolarisert* nøytronstråle vil like mange nøytroner ha magnetiske momenter som er rettet med feltet som mot feltet. I en polarisert stråle har vi på en eller annen måte klart å forrykke dette forholdet slik at et ulikt antall nøytron - momenter er rettet med feltet og mot feltet. Det vanlige er å referere polarisasjonsretningen til den retningen i forhold til feltet der nøytronstrålen har et overskudd av spinn, når nøytronspinnene summeres som vanlige vektorer. Strålens polarisasjonsgrad kan derfor uttrykkes ved et tall P_0 som kan skrives:

$$P_0 = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-} \qquad (1)$$

der n_+ er antall nøytroner med spinn i samme retning som det magnetiske felt og n_- er antall nøytroner med spinn motsatt det magnetiske feltet.

Nøytroner som skal brukes til undersøkelse av strukturen til krystaller bør være monokromatiske nøytroner, dvs. nøytroner med bare en bestemt bølgelengde (eller hastighet). Slike monoenergetiske stråler kan en skaffe seg ved å spre nøytronene fra en énkrystall slik at Braggbetingelsen

$$\lambda = 2\, d \sin \theta \qquad (2)$$

er oppfylt.

λ er nøytronets bølgelengde, $2\,\theta$ spredningsvinkelen og d avstanden mellom de gitterplan i krystallen som gir opphav til spredningen. Den samme lov gjelder som kjent også for spredning av røntgen-stråling fra krystaller.

Når spredningsvinkelen og planavstanden er fastlagt, vil monokromatoren levere nøytroner med kjent bølgelengde, og en kan nå studere spredningsmønsteret fra en ukjent krystall som blir stilt opp i nøytronstrålen. Det er klart at en lettere kan regne seg tilbake til den ukjente krystallens indre oppbygging når den innfallende strålens (bølgelengde og innfallsretning) egenskaper er kjent. Når nøytroner skal nyttes til studium av *magnetiske* krystaller, vil det være en fordel også å kjenne spinnretningen til de innfallende nøytronene.

I en fullstendig polarisert, monokromatisk nøytronstråle kjenner en både nøytronenes spinnretning og deres bølgelengde, og det er klart at antallet frihetsgrader er blitt redusert. I noen tilfeller kan en dessuten rette inn (polarisere) atommomentene i den krystallen som en skal undersøke ved å legge et magnetisk felt over krystallen. En har da ytterligere redusert frihetsgradene i systemet, og spredningsmønsteret blir lettere å forstå.

I prinsippet vil en altså ikke få noen ny form for vekselvirkning mellom nøytroner og krystall-atomer ved å bruke polariserte nøytroner, men en kan studere den magnetiske vekselvirkning og krystallens magnetiske struktur i en renere og lettere separerbar form. Dette er ofte en stor fordel fordi de magnetiske atomer en vil studere plasseringen av, ofte har så lite magnetisk moment at den magnetiske spredningen blir fullstendig overskygget av kjernespredningen hvis en nytter upolariserte nøytroner.

2. *Hvordan lages polariserte nøytronstråler?*

Formel (2) er gyldig både for kjernespredning og magnetisk spredning fra krystaller I det magnetiske tilfellet er d avstanden mellom gitterplan av magnetiske atomer. Sannsynligheten for at et nøytron skal bli spredt fra en atomkjerne avhenger av styrken av vekselvirkningen mellom kjernen og nøytronet. Denne vekselvirkningen angis ved kjernespredningsamplituden b som varierer med atomsorten. Dette er en positiv størrelse for de fleste atomkjerner. Størrelsen av b vil variere med nøytronets energi, men ved stukturundersøkelser er det vanlig å bruke nøytroner med bølgelengde rundt 1 Ångstrøm slik at det er tilstrekkelig for slike formål å kjenne b ved denne bølgelengde.

Sannsynligheten for at et nøytron skal bli spredd p. g. a. den magnetiske vekselvirkning mellom nøytronmoment og atommoment angis ved produktet av den magnetiske spredningsamplituden p, og en geometrisk faktor $\mathbf{q}$, kalt Halpern vektoren. Størrelsen av $\mathbf{q}$ er gitt ved formelen:

$$|\mathbf{q}| = \sin\alpha \qquad (3)$$

der α er vinkelen mellom det atomære magnetiske moment og spredningsvektoren. Spredningsvektoren er en vektor i retning av differansen mellom nøytronets impulsvektor før og etter sammenstøtet med atomet, og den vil derfor ligge i reaksjonsplanet. Faktoren p vil være avhengig av størrelsen av atomets og nøytronets magnetiske momenter.

Mellom kjernespredningen og den magnetiske spredningen fra samme atom vil det være et bestemt faseforhold avhengig av hvilken retning nøytronets magnetiske moment har i forhold til atomets magnetiske moment. Når nøytronets magnetiske moment, $\boldsymbol{\mu}$, har motsatt retning av atomets magnetiske moment vil de to spredningsformer innføre samme faseforandring i nøytronets materiebølge, og de to typer spredning kan samvirke eller interferere positivt. Har derimot nøytronets moment samme retning som atomets moment vil de to spredningsformer være ute av fase med hverandre og kan i noen tilfelle helt utslukke hverandre.

Det totale spredningstverrsnitt for et atom vil nå være gitt ved summen av kvadratene av de to spredningsamplituder pluss et interferensledd:

$$\sigma = 4\pi\,[b^2 + (p\,\mathbf{q})^2 - 2\,bp\,(\mathbf{q}\cdot\boldsymbol{\mu})] \qquad (4)$$

eller:

$$\sigma_+ = 4\pi\,(b + p)^2 \qquad (4a)$$

når nøytron og atom har motsatt rettede magnetiske momenter.

$$\sigma_- = 4\pi\,(b - p)^2 \qquad (4b)$$

når nøytron og atom har samme retning av de magnetiske momenter og dessuten

$$|\mathbf{q}| = 1 \quad \text{ɔ:}\ \alpha = \pi/2$$

Sprer vi altså nøytroner fra slike magnetiske atomer der $p \approx b$ i en bestemt retning, vil en i denne retningen få en stråle av polariserte nøytroner der nøytronet og atomet som det ble spredd fra, har motsatt rettede momenter. Hvis vi tar en énkrystall som bare består av ett slag atomer der dette er tilfellet og retter alle de atomære magnetiske momenter inn parallelt med et ytre magnetfelt, vil den magnetiske spredningen i bestemte retninger bli særlig sterk. I de samme retninger vil også kjernespredningen oppfylle Braggbetingelsen, og de to slags spredningsformer vil interferere etter formlene 4a og 4b dersom $q = 1$.

En énkrystall av kobolt der en har blandet inn 8 % jern for å stabilisere den kubiske fasen er t. d. en slik krystall. I en spesiell retning som oppfyller Braggbetingelsen (2) vil en slik krystall spre en nøytronstråle som er nesten 100 % polarisert i retning av det ytre felt over krystallen.

De magnetiske krystallene som skal undersøkes kan generelt bestå av forskjellige atomslag der bare det ene slaget bærer et magnetisk moment og kan gi opphav til magnetisk spredning av nøytroner. I retninger der kjernespredningen og den magnetiske spredning oppfyller samme Braggbetingelse vil en få interferens mellom de to spredningsformer, og en får liknende formler som i (4a) og (4b) hvis en istendet for b og p setter inn henholdsvis strukturfaktoren for kjernespredning, F_{kjerne}, og strukturfaktoren for magnetisk spredning, F_{magnet}. I strukturfaktorene blir det tatt hesyn til de geometriske forhold som rår mellom atomene i krystallen. Observeres nemlig en enhetscelle i en krystall under en bestemt vinkel vil partialbølgen fra to atomer på forskjellig sted i cellen ha en viss faseforskjell, og resultantbølgen vil endre intensitet med observasjonsretningen. Det totale spredningstverrsnittet for spredning i en bestemt retning vil være proporsjonal med den totale strukturfaktor F_N for nøytroner:

$$| F_N |^2_{\pm} = | F_{\text{kjerne}} \pm F_{\text{magn}} |^2 \qquad (5)$$

der + og — tegnet gjelder for den ene og den andre av nøytronets spinnretninger. Vanligvis er $F_{\text{kjerne}} \neq F_{\text{magn}}$ Noen krystaller vil ha en slik struktur at de to spredningsformer ikke kan oppfylle den samme Braggbetingelse, og nøytroner spredd fra kjerner i krystallen og magnetisk spredde nøytroner vil ha forskjellige spredningsvinkel. I dette tilfellet vil de to spredningsformer ikke kunne interfere. Antiferromagnetiske krystaller er av denne typen. Begrepet antiferromagnetisme som ble innført av Neél for å forklare bestemte magnetiske egenskaper, ble nettopp bekreftet ved at en fant slike rene magnetiske ekstrarefleksjoner ved spredning av nøytroner.

Vi er nå i stand til å se fordelen ved å bruke polariserte nøytroner til undersøkelsen ved å sammenlikne to eksperimenter med henholdsvis polarisert og upolarisert nøytronstråle når feltet og spredningsretningen er slik at $| \mathbf{q} | = 1$. La oss anta at den innfallende nøytron-intensitet er den samme i de to eksperimenter. Kjernespredningsamplituden, b, for atomene i metallisk nikkel er $1.03 \cdot 10^{-12}$ cm. Den magnetiske spredningsamplituden, p, for (111) refleksjonen, er $0.11 \cdot 10^{-12}$ cm. Ved spredning av upolariserte nøytroner vil intensiteten i (111) refleksjonen være proporsjonal med

$$b^2 + p^2 = 1.03^2 + 0.11^2 = 1.06 + 0.012 .$$

Den magnetiske del av spredningen kan en få bort ved å magnetisere nikkelkrystallen langs spredningsvektoren, men dette fører bare til en intensitetsendring på 1 %. Brukes polariserte nøytroner vil intensiteten i (111) refleksjonen være proporsjonal med

$$(b \pm p)^2 = 1.30 \text{ eller } 0.85$$

for de to polarisasjonsretninger. Vi får en intensitetsendring på hele 50 % ved å snu polarisasjonsretningen, og effekten skriver seg fra den magnetiske spredningen. De magnetiske fenomenene vil altså være lettere å oppdage, og måles med større nøyaktighet når en bruker polariserte nøytroner.

3. *Anvendelser.*

a. Formfaktormålinger.

La oss anta at vi sprer den fullstendig polariserte, monokromatiske nøytronstrålen fra en magnetisk krystall der spredningstverrsnittet i en bestemt retning kan skrives som i likningene (4). I dette generelle tilfellet vil $F_{\text{magn}} \neq F_{\text{kjerne}}$ Ut fra forholdet R^2 mellom nøytronintensiteten I_+ som er proporsjonal med $| F_N |_+^2$ og intensiteten I_- som er proporsjonal med $| F_N |_-^2$ kan vi bestemme forholdet mellom kjernespredningen og den magnetiske spredningen etter formelen

$$F_{\text{kjerne}}/F_{\text{magn}} = \frac{R + 1}{R - 1} \qquad (6)$$

der

$$R^2 = I_+ / I_- = | F_N |^2_+ / | F_N |^2_- \qquad (7)$$

I_+ kan vi finne hvis vi måler nøytronintensiteten når vi lar den fullstendig polariserte stråle få gå uforstyrret fra polarisatorkrystallen fram til den spredende krystall vi vil undersøke. I_- måles når den polariserte strålen har fått snudd sin polarisasjonsvektor motsatt i forhold til det foregående tilfellet. En slik vending eller flipping av polarisasjonsvektoren kan en oppnå ved å la strålen passere en nøytronspinnresonans flipper.

Vi har nevnt før at nøytronets magnetiske moment har to likevektsstillinger i forhold til et magnetfelt, parallelt og antiparallelt til feltet. Hver stilling karakteriseres likevel ved en viss potensiell energi, E_1 og E_2, og en kan få tvunget momentene som er parallelle med feltet til å stille seg antiparallelt til feltet dersom energiforskjellen $(E_1 - E_2)$ mellom de to tilstandene blir tilført nøytronstrålen utenfra. Dette er egentlig en resonansforeteelse kalt nøytronspinnresonans. Det enkleste er å la nøytronstrålen gå gjennom et magnetfelt der det også kan tilføres elektromagnetiske kvanter med energi $hf = E_1 - E_2$. En nøytronstråle som er polarisert parallelt med feltet før strålen kommer til «flipperen», vil etter «flipperen» ha polarisasjon antiparallelt med feltet. Høyfrekvensenergien (eller kvantene hf) blir tilført nøytronstrålen når den passerer langs aksen av en solenoide som er koplet til en høyfrekvens-oscillator.

Et instrument for bruk av polariserte nøytroner vil etter dette i hovedtrekkene bestå av: (se fig. 1).

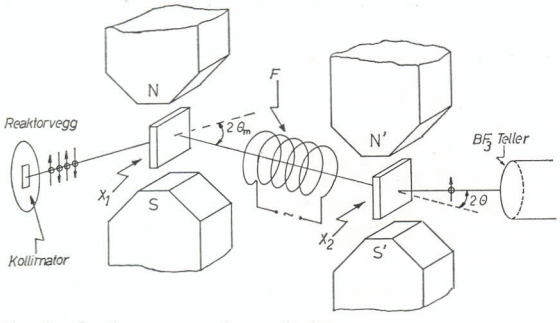


Fig. 1. Spektrometer for polariserte nøytroner.
X_1 monokromator og polarisator.
F flipper.
BF_3 nøytronteller
X_2 Prøve.
N–S og N'–S' elektromagneter.

1. En magnetisk monokromator- og polarisator-kristall som sprer nøytroner ut fra strålen som kommer fra reaktoren (X_1).
2. En polarisasjonsflipper (F) mellom polarisator og krystallen (X_2) som skal undersøkes.
3. En nøytronteller (BF_3) som kan måle den spredde nøytronintensiteten i forskjellige retninger fra prøven. Dessuten må en ha innretninger, permanent-magneter t. d., som setter opp et magnetisk felt med fast retning langs banen til den polariserte strålen fra polarisator fram til prøven.

En slik spektrometeroppstilling vil være akkurat det vi trenger til å måle forholdet mellom strukturfaktoren for kjernespredning og den magnetiske strukturfaktoren. På den annen side, hvis vi finner en intensitetsendring i en bestemt refleksjon ved flipping av nøytronstrålens polarisasjon kan vi utlede at en refleksjon har et magnetisk bidrag som skyldes en bestemt ordning av de atomære magnetiske momenter, og vi kan som før vist finne blandingsforholdet mellom kjerne- og magnetisk spredning.

Når nøytroner blir magnetisk spredd fra ett atom vil intensiteten for ulike spredningsvinkler være avhengig av fordelingen av magnetisk moment over det spredende atom. Dette magnetiske moment kommer fram ved at elektronenes to spinntilstander i atomet er ulikt besatt slik at atomet får et overskudd av spinn (og magnetisk moment). Vi kan anta at spinntettheten for de to spinnretninger er proporsjonal med ladningstettheten, og fordelingen av uparret spinn over atomer er:

$$\Delta\varrho(r) = \varrho(r)\uparrow - \varrho(r)\downarrow \qquad (7)$$

En kan vise at spredningen vil være proporsjonal med kvadratet av det en kaller atomets magnetiske formfaktor, f, som er den fourier transformerte av den radielle uparrede (spinn-) ladnings-tettheten $\Delta\varrho(r)$ over atomet:

$$f(\mathbf{k}) = \frac{1}{p_0}\int \Delta\varrho(r)\ \text{eksp}\,(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})\,dr \qquad (8)$$

Her er $\mathbf{k}$ spredningsvektoren og p_0 er den magnetiske spredningsamplituden for spredning rett framover.

En integrerer altså over spinntettheten i hvert punkt over atomets volum, men en tar samtidig hensyn til den fase-forskjell som materiebølgene fra hvert punkt har i forhold til hverandre. Ved å måle spredningsintensiteten fra ett enkelt atom for forskjellige spredningsvinkler vil en altså prinsipielt kunne finne f som funksjon av $\mathbf{k}$, og derav kunne regne seg til spinnfordelingen over atomet. Et slikt eksperiment med spredning fra *ett* atom ville naturligvis mislykkes, men dersom vi ordner identiske atomer i et krystallgitter vil en for bestemte vinkler ha Braggvilkåret (likn. 2) oppfylt, og en får samvirkning mellom mange atomer. I dette tilfellet får en målbare intensiteter å arbeide med, og en kan sammenlikne størrelsen av den magnetiske spredningen for forskjellige spredningsvinkler. Den magnetiske strukturfaktor vil nemlig være proporsjonal med den magnetiske formfaktoren. En får

likevel ikke bestemt $f(\mathbf{k})$ som en kontinuerlig funksjon av $\mathbf{k}$ på denne måten.

Ved å legge en glatt kurve gjennom de verdier av f som det er mulig å bestemme skulle en få noenlunde riktig resultat for de mellomliggende f-verdier dersom spinnfordelingen er kulesymmetrisk. Dersom atomets spinn-fordeling skulle avvike fra en slik symmetri, og altså ha utvekster i bestemte retninger i forhold til krystallens akser, ville dette vise seg ved en «humpete» formfaktorkurve.

Atomene med magnetiske momenter tilhører overgangsmetallene og de sjeldne jordmetaller, og det er antatt at de magnetiske momenter kommer av ufullstendig fylte 3d og 4f elektronskall. Vi så foran at en ved å bestemme den magnetiske formfaktoren kan finne fordelingen av uparret (eller ukompensert) spinn over atomet. Dette er av stor betydning fordi en kan avgjøre hvilke teorier f. eks. om 3d elektronenes oppførsel og fordeling over atomet som er de mest sannsynlige. Andre fysiske eksperimenter slik som ledningsevnemålinger, spesifikk varme etc. har antydet at en del av 3d elektronene i de respektive metallene sannsynligvis er ikkelokaliserte og har egenskaper som nærmer seg til ledningselektronene.

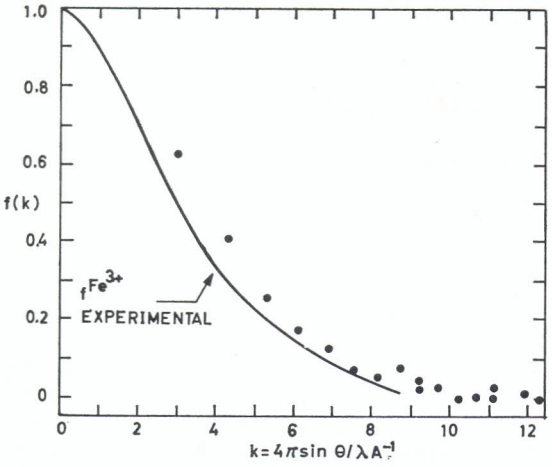


Fig. 2. Form-faktor kurver for jonet Fe^{3+} og metallisk jern målt ved nøytronspredning (svarte punkter).

I figur (2) er fremstilt målinger av den magnetiske formfaktoren for metallisk jern og for jonet $Fe^{3}{}_{+}$. For store verdier av $|\mathbf{k}|$ ser vi at noen av målingene ligger utenfor en glatt kurve. Dette kommer av at spinntettheten avviker fra kulesymmetri. På grunnlag av kurven i figur (2) kan en regne seg fram til den radielle fordelingsfunksjon av uparret spinn over jernatomet. En slik fordeling er fremstilt i figur (3) sammen med tilsvarende målinger for metallisk kobolt og nikkel.

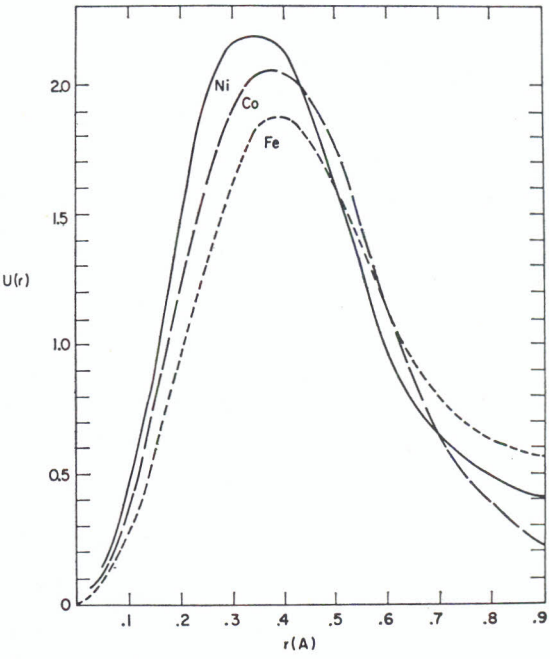


Fig. 3. Normaliserte radielle fordelingsfunksjoner for uparrede 3d elektroner i atomene i metallisk jern, kobolt og nikkel.

b. Uelastisk spredning av polariserte nøytroner.

Nøytroner kan også nyttes ved uelatiske spredningsforsøk. I slike eksperimenter vil en studere krystallers dynamiske egenskaper, og f. eks. undersøke varmesvingningenes frekvensspektrum. Energikvantene som tilsvarer disse lavere anslåtte eller eksiterte tilstander av faste stoffer er det vanlig å betegne fononer eller kvant av lydsvingninger. Disse kvantene er det mulig å betrakte som kvasipartikler med bestemt energi (frekvens) og impuls inne i krystallen. Ved en uelastisk spredningsprosess kan f. eks. et nøytron absorbere et fonon og kommer da ut av krystallen med forøket energi og endret bevegelsesretning. En kan også få nøytroner til å avgi energi og impuls slik at fononer blir dannet inne i krystallen.

Svingningene av de atomære magnetiske momenter fra sine likevektstilstander i en magnetisk krystall kan også kvantiseres, og vibrasjonskvantene kan tillegges partikkelnatur; en kaller dem for *magnoner*. Ved en forhøyelse av temperaturen blir svingningene av de magnetiske momentene kraftigere og en større og større del av tiden er momentene ikke rettet langs stoffets magnetiseringsretning.

Magnetiseringen vil derfor avta. En kan også forklare dette fenomen ved å si at magnonenes antall øker i stoffet ved stigende temperatur og at magnonene har et magnetisk moment som er rettet mot magnetiseringsretningen. En ser derfor at magnonene i tillegg til energi og impuls også må tillegges et magnetisk moment med tilhørende impulsmoment eller spinn.

Uelastisk spredning av nøytroner fra magnetiske stoffer kan en på tilsvarende måte som ovenfor se på som en utveksling av magnoner mellom nøytronene og stoffet. Et nøytron kan t. d. ta opp energi, impuls og spinn som akkurat tilsvarer til magnon, og det kommer derfor ut av krystaller med endret bevegelsesretning og polarisasjonsretning. Magnonene har spinnkvantetall = 1 slik at de kan sees på som partikler som følger Bose-statistikk. Spinnet er rettet motsatt magnonenes magnetiske moment, d. v. s. i samme retning som det magnetiske felt i stoffet.

Når en skal gjennomføre et eksperiment der en vil undersøke magnonutveksling mellom nøytronstråle og krystall, t. d. *skape* magnoner ved spredninger, må en bruke nøytroner med spinn rettet i samme retning som stoffets magnetiseringsretning; nøytronstrålen må altså være polarisert i denne retning. Etter spredningen vil en da finne at nøytronstrålens polarisasjon er blitt snudd; nøytronene har altså avgitt et helt spinnkvantum ved spredningen. Skal nøytronene oppta magnoner må de før spredningen ha polarisasjon eller spinn i motsatt retning av stoffets magnetiseringsretning. Etter spredningen vil nøytronenes polarisasjon atter være snudd.

Har vi innstilt vår spredningsapparatur slik at forholdene ligger til rette for uelastisk spredning der nøytronene bare har mulighet for å *lage* magnoner inne i stoffet med bestemt energi og impuls, vil vi altså få et slikt forsøk til å gå for bare én bestemt polarisasjonsretning av de innfallende nøytroner. Kriteriet for at eksperimentet «går» er at vi virkelig kan måle spredde nøytroner i den forventede spredningsretning. Snus polarisasjonen før nøytronene treffer krystallen, vil ikke vilkårene for å lage magnoner være tilstede og en får ikke lenger spredd nøytroner i den retningen telleren står innstilt på.

Ved å måle nøytronintensiteten i spredningsretningen når polarisasjonen er den ene eller annen vei kan vi altså skille ut og måle sannsynligheten (eller spredningstverrsnittet) for den spredningsprosess der magnoner blir laget. Vi har altså laget eksperimentet slik at magnonutvekslingsprosessen markeres ved en intensitetsendring når polarisasjonen snus.

En slik prosess vil ikke være skarpt definert med en bestemt spredningsvinkel, men vil være utbredt over et visst vinkelområde. Dette kommer av at for samme eksperimentoppstilling vil nøytronene kunne tre i vekselvirkning med magnoner med alle mulige bevegelsesretninger inne i krystallen. Nøytronenes impuls etter spredningen vil derfor være tilsvarende ubestemt, men for hele det tillatte vinkelområde vil en få intensitetsendring ved en forandring av polarisasjonen som beskrevet overfor. Dette skjer altså fordi alle magnonene har ensrettet spinn (med magnetiseringsretningen) uavhengig av hvilken retning de *beveger* seg i.

I begynnelsen av avsnittet nevnte vi at nøytronene også kan utveksle fononer med krystaller. Fononer vil naturligvis også være tilstede i magnetiske krystaller og konkurrere med magnonene om nøytronene ved en spredningsprosess. Men utvekslingen av fononer mellom nøytroner og krystaller vil være uavhengig av polarisasjonsretningen av nøytronene. Ved å bruke polariserte nøytroner kan vi altså skille mellom den del av den uelastiske spredningen som skyldes utveksling av magnoner og den del som fononene gir opphav til.

Resultatet av et slikt eksperiment med uelastisk spredning av polariserte nøytroner

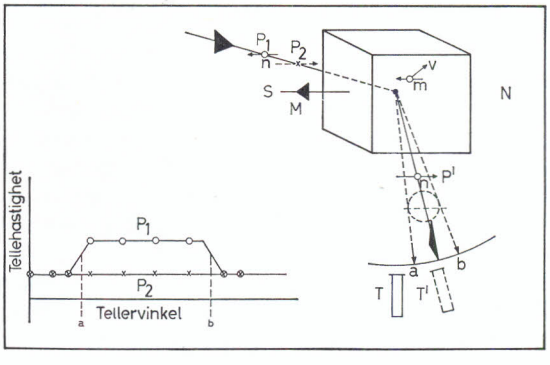


Fig. 4. En énkrystall av magnetitt står i et magnetisk felt (N–S) med retning M. Nøytroner, n, polarisert i retningen P_1 faller inn mot krystallen. Magnoner med bevegelsesretning, v, og spinn, m, blir laget inne i krystallen. Etter spredningen har nøytronene fått snudd sin polarisasjonsretning, P^1. De spredde nøytroner finnes igjen innenfor et vinkelområde a–b. Nøytroner polarisert i retningen P_2 vil ikke kunne lage magnoner og blir ikke spredd. En bevegelig teller, T, måler intensiteten av de spredde nøytroner. Til høyre og venstre for henholdsvis b og a måles bare vanlig bakgrunn.

er framstilt i fig. (4). Den spredende krystall er en énkrystall av magnetitt (Fe_3O_4), som står i et magnetisk felt. Langs abscisseaksen er avsatt nøytrontellerens vinkelposisjon, og ordinaten er den målte intensitet. I forsøket har en lagt forholdene til rette for at nøytronene skal avgi energi til krystallen, altså eventuelt *lage* magnoner dersom polarisasjonsretningen er den riktige. Vi ser at retningen stemmer med det vi har forklart ovenfor forat nøytronene skal bli spredd og forsøket skal «gå».

Samhørende verdier av energi og impuls for magnon kvasipartiklene kan finnes ved at en analyserer energien til nøytronene som blir spredd over hele det tillatte eller mulige vinkelområdet. En slik relasjon mellom energi og impuls vil gi fundamentale opplysninger om vekselvirkningskreftene i det magnetiske systemet. Energiforøkelsen (ev. minkingen) kan en finne ved å sammenlikne med nøytronenes energi før spredningen, og den tilhørende impuls kan finnes av den retningsforandring nøytronene har foretatt.

Eksperimentet ovenfor kan sies å bevise fruktbarheten av begrepet *magnoner* for å beskrive energitilstandene i magnetiske stoffer. Polarisasjonsavhengigheten av spredningen viser at magnonene må tillegges spinn og magnetisk moment. Innen alle grener av de faste stoffers fysikk har det vist seg at begrepet kvasipartikler har brakt vår forståelse av de lavere anslåtte energitilstander et langt skritt framover. Inne i en magnetisk krystall vil t. d. gasser av magnoner, fononer, eksitoner, elektroner etc. diffundere omkring; partiklene kan også kollidere med hverandre og energi, impuls og spinn blir utvekslet. Slike vekselvirkninger eller koblinger mellom partikler av forskjellig slag kan bli særlig sterke for bestemte frekvenser, og partiklenes spektrum kan bli endret. Ved hjelp av uelastisk spredning av nøytroner er det mulig å finne eksitasjonenes endrede spektrum, og en kan direkte se vekselvirkningene mellom de ulike eksitasjonskvanter eller kvasipartikler.

Til slutt kan vi nevne at en i det siste har sett polarisasjonseffekter for langsomme nøytroner som skyldes nøytron spinn-bane kopling ved spredning fra atomkjerner. En slik effekt er en kjent med fra spredning av hurtige nøytroner, og en kaller den for Schwingereffekt. Denne ekstra polarisasjonseffekten vil enten øke eller minke den polarisasjon vi kan oppnå fra en polarisatorkrystall avhengig av i hvilken retning vi sprer nøytronene. Spektrometre for polariserte nøytroner kan derfor karakteriseres som enten høyre- eller venstre-håndssystemer.

Polariserte langsomme nøytroner kan nyttes til viktige undersøkelser av magnetismens atomære opprinnelse, og har derfor ført til en dypere forståelse av hvorfor magnetiske stoffer oppfører seg slik de gjør. Vi kan bare huske på at de ulike former for stål som danner grunnlaget og ryggraden for vår tekniske sivilisasjon er legeringer med det magnetiske grunnstoffet jern. Dessuten er den moderne elektroteknikk avhengig av magnetiske koblingskomponenter. Uten slike ville moderne fjernsyn, radio, radar, elekroniske regnemaskiner, automasjon, raketteknikk osv., osv. være utenkelig. Magnetiske undersøkelser av faste stoffer ved hjelp av nøytroner har hatt en rivende utvikling i de siste år, og helt nye former for ordning av de atomære momenter er blitt oppdaget. Dette gjelder særlig de sjeldne jordmetallene.

G. E. Bacon: Neutron Diffraction, 2. utgave (Oxford, Clarendon Press 1962).
E. J. Samuelsen, T. Riste and O. Steensvoll: Spin wave scattering of polarized neutrons, Phys. Lett. *6*, 47 (1963),

AHA-spalten*

Vår venn, astronauten Per Aspera, befinner seg igjen i sitt romskip, denne gang på vei til Mars. Sollyset er sterkt og Per tar på seg sine polaroid-solbriller. Det hjelper lite, og han tar derfor et par til, maken til de første, utenpå. Litt senere tar han av seg det ytre solbrillepar, og gjør nå den store oppdagelse at om han snur det ytre solbrillepar slik at lyset faller inn mot innersiden av brillene mens han enda har på seg det andre paret så er lysintensiteten som faller gjennom begge brilleparene meget mindre enn når han hadde begge brillene på nesen samme veien. Per mener derved å ha oppdaget et brudd på omvendingsloven i optikken. Han telegraferer til stasjonen på bakken og oppdagelsen blir omgående publisert i New York Times under titelen: «Omvendingsloven i optikken ikke gyldig i det tomme rom».

Kan noen av leserne si om det er mulig at herr Aspera kan ha sett hva han mener han så, og kan noen i så fall forklare fenomenet?

* Alle Husker Aspera.

En beretning om hvorledes Galileis videnskapelige resultater nådde Det Fjerne Østen for 350 år siden

Nic. Knudtzon

Det italienske telegrafstyre holder til i det tidligere kloster Santa Maria sopra Minerva i Rom. Over døren i konferanserommet henger et lite maleri av Galileio Galilei (1564–1642) og minner oss om at vi her befinner oss på historisk grunn: det var nemlig i dette selvsamme rom han sto for inkvisisjonen i 1633 og hvor han ifølge legenden skal ha mumlet «Eppur si muove» – den (jorden) beveger seg dog. En del av Galilei's instrumenter befinner seg i det rikholdige, men lite kjente Il Museo de Storia della Scienza i Firenze. Ja, samlingen inkluderer til og med hans pekefinger som ble hugget av i nattens mulm og mørke før begravelsen!

En beretning om hvorledes Galileis resultater i løpet av forbausende kort tid nådde frem til China, kan muligens være av interesse. Min kilde er «Galilei in China» av Pasquale M. d'Elle, S. J., utgitt av Harvard University Press i 1960 etter en italiensk utgave av 1947. Den refererer til mange europeiske og kinesiske skrifter som inntil da ikke hadde vært publisert.

Bakgrunnen for denne historie var forvirringen i den kinesiske kalender. Tidsregningen i China går tilbake til det annet årtusen f. K. Under den hardhendte Shih Huang, som sentraliserte styret og påbegynte den kinesiske mur, ble det i 213 f. K. forordnet at alle bøker skulle brennes, således også kalenderen. Man greidde dog å gjemme unda endel eksemplarer som ble hentet frem vel hundre år senere. Den opprinnelige kalenderen var således fortsatt i bruk. I tillegg hadde noen muhammedanere fra Persia i det trettende århundre bragt med seg bøker om planetenes bevegelser. De ble imidlertid liggende uoversatt i slottet inntil Hung Wu trakk dem frem i 1382 og fikk oversatt de praktiske, men ikke de teoretiske deler. Hung Wu hadde fordrevet Tartar-dynastiet efter å ha begynt som kokk i et buddistkloster.

I den kinesiske kalenderen bestod det ordinære år av tolv måneder, men det var to skuddår med tretten måneder i hver fem-års periode for å bringe en viss overensstemmelse mellom måne-og solsykler. Kalenderen var ikke perpetuell, og måtte for hvert år regnes ut dag for dag. Keiseren hadde en stab på over to hundre mandariner til dette arbeidet, og kopier ble fordelt over hele det store rike. Kalenderen var meget viktig fordi den foreskrev hva man kunne gjøre og ikke kunne gjøre på bestemte dager: ofre, bade, bygge, utbetale, osv. Da mandarinene ikke var i besiddelse av noen teori for planetenes bevegelser, kunne de ikke innføre de nødvendige korreksjoner på videnskapelig basis. Ved måneformørkelsen 15. mai 1612 gjorde de en feilberegning på tre kvarter. Som straff nektet keiseren dem da tre måneders lønn! I sin nød søkte mandarinene assistanse hos jesuitt-misjonærene, som heri så et middel til å fremme sin sak.

Siden Marco Polos tid (trettende århundre) gikk det i Europa mange legender om Cathay og China (som man trodde var to forskjellige land). I begynnelsen av det sekstende århundre begynte folk fra de europeiske sjømakter å vise seg langs China's kyster, og i deres fotspor fulgte misjonærene, for det meste jesuitter og fransiskanere fra Spania, Portugal og Italia. Reisen til det fjerne østen var i de dager både farefull og langvarig. Skibene seilte bare en gang om året i mars fra Lissabon med kurs for Det Gode Håp og kom i beste fall til Goa i september. Der måtte de reisende vente til neste april da monsunen tillot videre seilas til Macau hvor de ankom i juli.

I tiden 1550–1580 kom omkring seksti misjonærer til China, men det var først Matteo Ricci (1552–1610) som ved sitt kjennskap til astronomi oppnådde nær kontakt med de lærde og til slutt med selve keiseren. Situasjonen fremgår tydelig av brev han skrev til Generalens kontor i Rom i 1605: «De glober og astronomiske instrumenter som jeg selv har laget og bruker i min undervisning, har gitt meg berømmelse her for å være verdens største matematiker. Jeg er ikke i besiddelse av en eneste bok over astronomi, men ved hjelp av bare noen enkle tabeller og portugisiske almanakker har jeg forutsagt formørkelser nøyaktigere enn mandarinene. Når jeg forteller dem at jeg ikke er istand til å korrigere deres regler, vil de ikke tro meg. Derfor mener jeg at om en eller to dyktige astronomer og de nødvendige bøker ble sendt hit, kunne vi lett

Dr. Nic. Knudtzon er sjef for Telekommunikasjonsavdelingen ved SHAPE Technical Centre i Haag, Nederland.

oversette våre tabeller til kinesisk og rette på deres kalender. Dette ville gi oss anseelse og åpne Chinas dører ytterligere for oss...».

I mellomtiden hadde Galilei gjort sine store iakttagelser som han i 1610 publiserte i «Sendebud fra stjernene». Boken vakte stor oppsikt også i Rom hvor den meget ansette kardinal Christoffer Clavius (1537–1612), som hadde utført beregningene for den gregorianske kalenderreform, personlig fikk tak i en kikkert og verifiserte Galileis oppdagelser i brev til en av duumvirene av Augsburg, erkebiskopen av Köln og andre. Glavius har antagelig før sin død innsett nødvendigheten av å modifisere den gamle oppfatning til fordel for Nicolaus Copernicus' (1473–1543) heliosentriske verdenssystem (med solen som midtpunkt), men han levet ikke lenge nok til å kunne forhindre Kirkens senere forfølgelser av Galilei.

Også fra en ung jesuitt-misjonær Anthony Rubino i India kom det henvendelser til Rom om å få astronomiske tabeller. Hans brev var skrevet i oktober 1609 og nådde Clavius i begynnelsen av 1611. Rubino mottok i siste halvdel av 1612 et svar med beskrivelse av Galileis oppdagelser, og skrev da entusiastisk tilbake og bad om en kikkert. Vi vet ikke om Rubino fikk det, men vi må anta at han har rapportert hva han hadde hørt fra Rom videre til China. I en liten astronomibok på kinesisk av jesuitten Emmanuel Diaz i 1615 finnes nemlig et kort addendum om kikkerten og noen av de observasjoner av planetene som er gjort med den.

Riccis etterfølgere i China fortsatte henvendelsene til Rom om å få dyktige astronomer, de beste fagbøker og de nyeste instrumenter for å fremme misjonens arbeide:« ... mens to eller tre misjonærer beskjeftiger seg med videnskapelige studier og oversettelser i Peking for å hjelpe kineserne i deres forvirring med kalenderen, kan resten av misjonærene rolig og sikkert ta seg av Guds sak i de øvrige deler av riket...». Til slutt sendte de i 1612 en prest til Rom for å tale den fjerne misjonens sak hos Generalen og Paven. Han reiste fra Lissabon med kurs for China i 1618 med 22 misjonærer. Av de 636 passasjerer ombord døde 45 underveis hvorav 5 av misjonærene. Blandt dem som kom frem, var Kirwitzer som i 1615 hadde erklært sin overbevisning om riktigheten av Copernicus' system og sin beundring for Galilei, Schall von Bell som fikk et stort navn som astronom i China, og Schreck som i 1611 hadde tittet i kikkerten under Galilei's personlige veiledning.

Før avreisen til China drog Schreck gjennom Europa for å samle bøker til det planlagte videnskapelige bibliotek i Peking, ved avreisen hadde han med seg hele 7000 bind. Det er sannsynlig at han også fikk med seg en kikkert som i tilfelle var den første som nådde China. Galilei hadde i 1616 fått pave Paul V's påbud om hverken offentlig eller privat å forfekte Copernicus' doktrine om jordens bevegelse. Schreck gjorde den ene henvendelse etter den annen til innflytelsesrike personer for å få rede på Galileis metode for beregning av formørkelser, hans sol- og månehypoteser og eventuelle avvikelser mellom Galileis og Tyge Brahes beregninger, og gikk så langt at han under henvisning til påbudet av 1616 lovet full taushet. Etter ankomsten til China fortsatte Schreck å sende sine innstendigste anmodninger. Galilei forble imidlertid taus antagelig på grunn av både Pavens påbud og sin tvist med jesuitten Schreiner om prioriteten for oppdagelsen av solflekkene. I mai 1624 under sitt fjerde besøk i Rom svarte Galilei kort og godt at han intet hadde å meddele til China. Schreck skrev da til sine kolleger i Ingolstadt, og de besørget brevet videresendt til Johann Kepler (1571–1630) som mottok det i november 1627. Han svarte omgående og detaljert på alle Schrecks spørsmål og avsluttet med et fromt ønske om kinesernes snarlige omvendelse. Kepler sendte også med to deler av keiser Rudolf II's astronomiske tabeller som han hadde fullført og forøket etter Tyge Brahe og som akkurat da ble utgitt.

I 1626 publiserte Schall van Bell en liten bok på kinesisk om kikkerten og dens videnskapelige anvendelse med illustrasjoner. Schreck utga omkring 1628 en avhandling om observasjoner av planeter og solen og om solflekkene. Dagen før solformørkelsen 21. juni 1629 ble de kinesiske mandariner, de muhammedanske astronomer og de europeiske misjonærer anmodet om å skrive ned resultatene av sine beregninger. De kinesiske embedsmenn forutsa at formørkelsen skulde begynne kl. 10.30 og vare i to timer. Misjonærene holdt på at den skulde begynne kl. 11.30 og vare i to minutter, og de fikk rett. Ved keiserlig forordning av 1. september samme år ble reformen av kalenderen overlatt til misjonærene og deres elever. Dette forårsaket den rene «sputnikvekkelse» i China med over-

settelse av videnskapelige bøker på en bred front. I 1634 publiserte Schall von Bell kinesiske bøker om den europeiske kalender og avvikelser mellom europeiske og kinesisk astronomi. En kikkert innpakket i fineste silke ble overrakt keiseren personlig og demonstrert for ham. Copernicus' verdensbilde ble imidlertid av gode grunner ikke presisert.

Da en koreansk ambassadør returnerte fra China i august 1631 bragte han med seg astronomiske skrifter og en kikkert som gave fra misjonærene, og derfra var ikke veien lang til Japan. En kikkertpost for å observere ankommende skib ble opprettet i Nagasaki i 1638.

I mellemtiden hadde Galilei utgitt sin blendende «Dialog over de to største verdenssystemer» (1632), og han var stevnet og dømt av inkvisisjonen under trussel av tortur. Det er paradoksalt at det nettop var Kirken som gjorde hans oppdagelser så hutig kjent på den annen side av kloden.

Plasmatilstanden – fysikk og anvendelser

Del 2

Jon Arne Bakken

4. **Fusjonsforskning.**

Av de mange anvendelser plasmafysikken har funnet i vitenskap og teknikk, må vi her foreta et lite utvalg. Vi vil begynne med fusjonsforskningen, som er uløselig knyttet til plasmafysikken. Det er ingen tvil om at interessen for kontrollert fusjon har vært det viktigste incitament for plasmafysikerne i årene etter krigen.

4.1. *Fusjonsenergi.*

Problemet med å dekke det raskt økende energibehov i verden ville vært løst for all fremtid hvis man lærte å kontrollere energiutviklingen ved *fusjon* av hydrogenisotopene deuterium (D) og tritium (T):

$$D^2 + D^2 \rightarrow \begin{cases} He^3 + n^1 + 3{,}2\ \text{MeV} \\ (= 1{,}8 \times 10^7\ \text{kcal pr. g D}) \\ T^3 + p^1 + 4{,}0\ \text{MeV} \end{cases}$$

$$D^2 + T^3 \rightarrow He^4 + n^1 + 17{,}6\ \text{MeV}$$

Til sammenlikning kan nevnes at forbrenningsenergien for hydrogen er 29 kcal/g. D-T-reaksjonen går omtrent 10 ganger raskere enn D-D-reaksjonen. Deuterium har imidlertid den fordel fremfor tritium at det finnes i alt vann, kan lett og billig skilles fra vanlig hydrogen, og representerer derfor en nærmest uutømmelig energikilde.

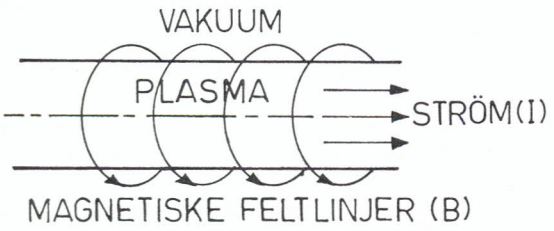
For at fusjon skal kunne skje må kjernene har stor relativ hastighet, slik at de kan komme i intim kontakt til tross for de frastøtende Coulomb-kreftene mellom dem. Det kreves derfor partikkelenergier av orden 10–100 keV. I laboratoriet får man istand fusjonsreaksjoner ved å rette en stråle av D-ioner fra en akselerator mot f. eks. is av tungtvann, D_2O. Denne metoden er svært lite effektiv og kan ikke danne grunnlag for en kraftproduserende reaktor.

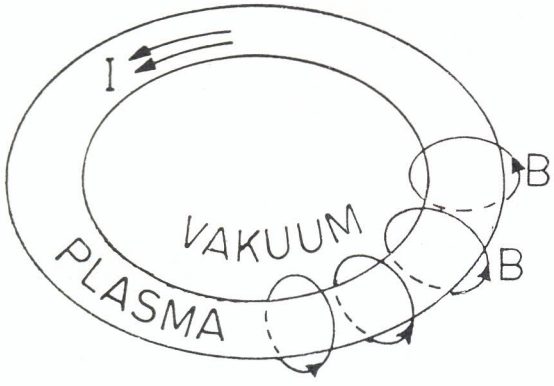
H-bomben har dramatisk demonstrert den ukontrollerte frigjøring av enorme mengder fusjonsenergi – 10 megatonn TNT svarer omtrent til Norges årlige kraftproduksjon, 3×10^{10} kWh.

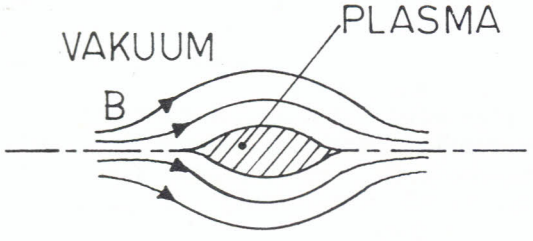
Fusjonsforskningens endelige mål er å finne frem til metoder for kontrollert frigjøring av fusjonsenergi til fredelige formål. Innsatsen av folk og penger på dette forskningsfeltet er formidabel. De fleste teknisk utviklede land har laboratorier for plasma- og fusjonsforskning. Arbeidet har i stor utstrekning karakteren av ren grunnforskning innen plasmafysikken. For å gi et inntrykk av innsatsen kan nevnes at det britiske senteret for plasmafysikk og fusjonsforskning ved Culham har et årlig driftsbudsjett på over 70 mill. kr.

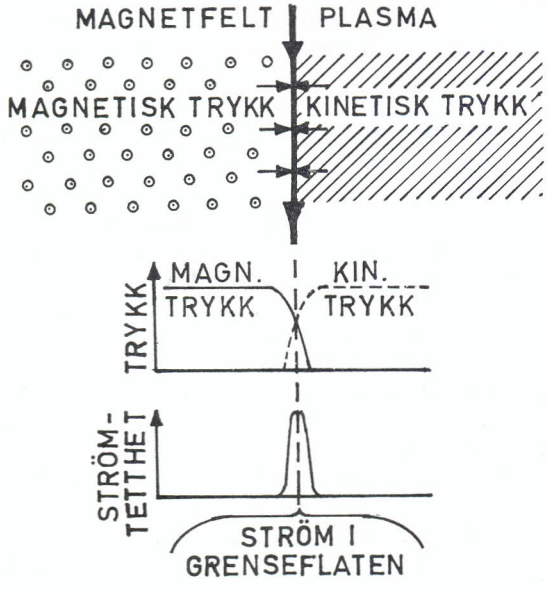
4.2. *Innestenging.*

For å oppnå en reaksjonshastighet av teknisk-økonomisk betydning må man basere seg på *termonukleær* fusjon av kolliderende kjerner i et hett plasma av tungt hydrogen. Den nødvendige temperatur i et slikt plasma er beregnet til ca. 2×10^8 °K for D–D-, og 4×10^7 °K for D-T-reaksjonen. Et så varmt plasma kan ikke holdes sammen av materielle









vegger, ikke bare fordi veggene ville smelte, men først og fremst fordi et plasma i kontakt med vegger ville avkjøles for hurtig til at fusjon kunne komme igang. Men det skulle være mulig å utnytte kraftvirkningen (dvs. Lorentz-kraften) mellom elektriske strømmer i overflaten av plasmaet og et ytre magnetfelt til å holde plasmaet sammen innenfor et gitt volum. En fusjonsreaktor kan man da tenke seg bestå av et vakumkammer med et hett plasma, som er isolert fra veggene i kammeret vha. magnetiske felt. Reaktoren vil trolig avgi energien i korte pulser, bl. a. fordi magnetfelt av den styrke som her kreves ($\sim 10^5$ G) ikke kan gjøres statiske.

Skal en slik reaktor kunne produsere nyttig energi, må ikke bare temperaturen være høy nok, men ifølge *Lawson-kriteriet* på produktet av tetthet og innestengingstid være større enn 10^{22}m^{-3}s for D-D- og 10^{20} for D-T-reaksjonen. Hvis f. eks. partikkeltettheten er 10^{22} m^{-3}, må et deuterium-plama holdes sammen ved en temperatur på minst 2×10^8 °K i minst 1 sekund.

En rekke forskjellige magnetfelt-konfigurasjoner for innestenging av termonukleære plasma er blitt undersøkt eksperimentelt og teoretisk. Fig. 1 viser tre typer av *magnetiske «beholdere»*: a) lineær pinch, b) toroidal pinch og c) magnetisk «speil» eller «flaske». Prinsippet for innestenging i magnetfelt fremgår også av figuren, som anskueliggjør begrepene «utefrysing» og «magnetisk trykk», som ble omtalt på s. 66. I de følgende avsnitt skal vi se litt på hvordan et plasma i en magnetisk «beholder» kan varmes opp, og på de mekanismer som fører til tap av energi og avkjøling.

4.3. *Oppvarming.*

Plasma i magnetiske «beholdere» kan varmes opp til høy temperatur på flere måter, som vanligvis faller i en av følgende tre kategorier: 1) ohmsk oppvarming, 2) magnetisk kompresjon og 3) oppbygging av hett plasma ved injeksjon av energirike partikler.

Ohmsk oppvarming er lite effektiv over ca. 10^7 °K, først og fremst fordi et plasmas ledningsevne øker raskt med temperaturen ($\sigma \propto T^{3/2}$), men også fordi oppvarmingen

Fig. 1. Magnetiske «beholdere».
a) lineær pinch.
b) toroidal pinch.
c) magnetisk «speil» eller «flaske».
d) prinsippet for innestengning av plasma i magnetfelt.

nødvendigvis forutsetter at plasma og magnetfelt må diffundere inn i hverandre, slik at innestengingen blir dårligere.

Magnetisk kompresjon får man istand ved å øke den magnetiske feltstyrken i «beholderen» uten å forandre feltets topografi, altså ganske enkelt ved å øke strømstyrken i magnetspolene. Vi skal se litt nærmere på de to yttertilfellene av kompresjon.

Kompresjonen blir *adiabatisk* (isentropisk) hvis den skjer så langsomt at et stort antall partikkelkollisjoner finner sted i løpet av kompresjonstiden. Det kinetiske trykket er da hele tiden lik det magnetiske trykket, plasmaet er i likevekt, og prosessen er reversibel, slik at intet vinnes ved å utføre flere kompresjoner – den maksimalt oppnåelige temperatur er entydig bestemt av den maksimale magnetiske feltstyrke.

Hvis kompresjonen skjer hurtig, blir den *ikke-adiabatisk*. Det oppstår da sjokkbølger, idet strømsjiktet i grenseflaten mellom magnetfelt og plasma kan sammenliknes med et stempel, som beveger seg med overlydsfart inn gjennom «beholderen». En sjokkfront forplanter seg et stykke foran strømsjiktet, og i mellomrommet strømmer akselerert og *sjokkopphetet* plasma. Sjokkfronten blir reflektert i midten av «beholderen» og dermed stiger temperaturen ytterligere. Senere kolliderer fronten med strømsjiktet, og snart får man et komplisert bølgesystem. I prinsippet kan stadig høyere temperatur oppnås ved å gjenta denne irreversible oppvarmingsprosessen.

Injeksjon. Ved de to første metodene varmer man opp et plasma, som allerede er på plass i «beholderen». Man kan også fylle en på forhånd tom «beholder» med hett plasma ved at partikler med den ønskede energi blir injisert fra en ytre akselerator, innfanget i magnetfeltet og etter hvert termalisert. Enkle ioner (f. eks. H^+) kan ikke fanges inn i et statisk magnetfelt, de vil bare følge en krum bane og raskt forlate feltet igjen. For å få til innfanging kan man 1) la magnetfeltet øke med tiden; 2) endre forholdet mellom ladning og masse for partiklene etter at de er trengt inn i feltet, enten ved ionisasjon av injiserte nøytrale atomer eller ved dissosiasjon av molekylære ioner (f. eks. H_2^+) ledsaget av elektroner; eller 3) sørge for å konvertere den ordnede bevegelsen til de injiserte partiklene til mer uordnet bevegelse i feltet («order-disorder trapping»).

Oppvarming kan også skje vha. oscillerende magnetfelt. Metoden kalles *magnetisk pumping* når kvartperioden er omtrent lik ione-kollisjonstiden, og *ione-cyclotron-oppvarming* når oscillasjonsfrekvensen er lik ione-cyclotronfrekvensen.

4.4. *Energitap*.

Plasma taper energi til omgivelsene ved elektromagnetisk stråling og ved at energirike partikler unnslipper fra den magnetiske «beholderen». Når det gjelder stråling, oppfører et plasma seg helt forskjellig fra det absolutt svarte legeme, og strålingsintensiteten er vesentlig mindre enn Stefan-Boltzmanns lov angir. Hvis denne lov gjaldt for plasma, ville kontrollert fusjon være en umulighet. Strålingstapene er imidlertid alvorlige nok. Særlig gjelder dette *bremsestrålingen*, som skyldes akselerasjon av elektroner i feltet omkring kjernene. Bremsestrålingen (som er røntgenstråling) blir praktisk talt ikke reabsorbert i plasmaet, kan ikke sendes tilbake gjennom plasmaet vha. reflektorer, og representerer derfor et uunngåelig energitap i en fusjonsreaktor. *Cyclotron*strålingen derimot, som skyldes akselerasjon av gyrerende elektroner i magnetfeltet, og ligger i infrarødt og mikrobølgeområdet, blir delvis reabsorbert i plasmaet og reflektert fra metallflater, slik at tapene vil kunne reduseres vha. reflektorer omkring reaktoren. *Optisk* stråling, som beror på eksitasjon av ufullstendig ioniserte («strippede») atomer og rekombinasjon av ioner og elektroner, vil ikke spille noen stor rolle i et kjemisk rent termonukleært plasma, selv om denne typen stråling er en dominerende tapskilde ved alle eksperimenter som hittil er gjort. Hvis ikke plasmaet er svært rent, vil mesteparten av den energien som er blitt tilført for å varme opp, raskt bli strålt ut igjen av tunge forurensningsatomer, som kan stamme fra veggene i vakuumkammeret. Således vil 1 atomprosent oksygen i et hydrogen-plasma øke bremsestrålingen (som er proporsjonal med kjerneladningen i 3. potens) med ca 70 %.

Partikkeltap beror på forskjellige mekanismer. Partikler kan slippe ut av magnetiske «beholdere» ved *diffusjon* både loddrett på og paralellt med feltet (i det siste tilfellet taler man om lekkasjer eller hull i «beholderen»). Diffusjonen beror på kollisjoner mellom partiklene. Partikkeltap p. g. a. *ladningsutveksling*

har betydning når det er nøytrale atrome tilstede. Et hurtig ion som kolliderer med et langsomt nøytralt atom, kan miste sin ladning til atomet og dermed forsvinne med sin energi ut av den magnetiske «beholderen». Ingen av de tapsmekanismer som hittil er nevnt, synes å være så alvorlige at de prinsippielt kan umuliggjøre kontrollert fusjon. Men det vil bl. a. stille meget store krav til vakuumutstyret og renheten av plasmaet i en fusjonsreaktor.

Mer problematisk er energitap p. g. a. *ustabiliteter*, som etter ganske kort tid ødelegger hele strukturen til plasmalegemet i den magnetiske «beholderen». Flere typer av ustabiliteter er blitt påvist eksperimentelt og tildels forutsagt teoretisk. De kan være av magnetohydrodynamisk natur, de kan skyldes mikroskopiske effekter eller det faktum at ledningsevnen ikke er uendelig, slik at man ikke kan regne med ideell «innefrysing». Et plasma i et magnetisk felt vrir og vrikker på seg, deler seg opp og bytter plass med magnetfeltet, slik at det snart slipper ut av den magnetiske «beholderen», kommer i kontakt med veggene og avkjøles. Dette er den viktigste årsaken til at alle de forsøk man hittil har gjort på å oppnå termonukleære forhold har vært mislykket. De temperaturer som er oppnådd, er oftest en størrelsesorden for lav, og Lawson-produktet er samtidig to eller flere størrelsesordner mindre enn det kreves for en kraftproduserende fusjonsreaktor. (Se Ref. 4.)

Ved amerikanske og sovjetiske eksperimenter med magnetiske «speil» har man nylig kommet opp i 2×10^8 °K. Partikkeltettheten var imidlertid meget lav ($10^{14} - 10^{16}$ m^{-3}) og Lawson-produktet bare en milliontedel av den tilstrebede verdi. Resultatet er likevel oppmuntrende, da det så ut til at varmetap, og ikke ustabiliteter, var årsaken til nedkjølingen og den lave verdi på Lawson-produktet. (Se Ref. 5).

5. Plasmafysikk og romforskning.

5.1. *«Re-entry»-problemer.*

Som allerede nevnt vil et romskip som beveger seg med overlydshastighet gjennom en planets atmosfære, bli omgitt av et plasmasjikt. Dette sjiktet svekker radiosignaler til og fra romskipet, og under visse forhold også dets evne til å reflektere radarbølger. Ved de hastigheter som f. eks. bemannede romkapsler har når de vender tilbake til jorden, er svekkingen stor nok til å forårsake fullstendig blokering av radiosambandet (s. k. «re-entry blackout») unntatt ved ekstremt høye mikrobølgefrekvenser. Dette gjør det svært vanskelig å styre og kontrollere slike romkapsler vha. telemetrisignaler fra stasjoner på jorden. Det samme kan gjelde overføring av vitenskapelige data fra raketter eller romsonder. Følgelig er det viktig å forstå de plasmafenomener som oppstår ved tilbakevending til atmosfæren, og da først og fremst vekselvirkningen mellom plasma og elektromagnetiske bølger. Men for å kunne spesifisere plasmasjiktets egenskaper kreves det også detaljert kjennskap til de aerodynamiske forhold og til den øvre atmosfæres fysikk.

I studiet av elektromagnetiske bølger i plasma spiller *plasmafrekvensen* en viktig rolle. Den er definert som:

$$\omega_p = \sqrt{e^2 n_e / \varepsilon_0 m} = 56{,}4 \sqrt{n_e} \tag{9}$$

hvor ε_0 = dielektrisitetskonstanten for vakuum, n_e = elektrontetthet, m = masse og e = ladning for et elektron. Vi forutsetter først at vi kan neglisjere virkningen av et eventuelt magnetfelt i plasmaet. Det betyr at $\omega_p >> \omega_{ge}$ = elektron-gyrofrekvensen, jfr. likning (3b). Et plasma opptrer omtrent som et dielektrikum overfor elektromagnetiske bølger med vinkelfrekvens større enn ω_p. Høyfrekvente bølger slipper derfor gjennom plasmaet med attenuasjon eller tap, som avhenger av kollisjonsfrekvensen. En gitt bølge av frekvens ω vil altså forplante seg gjennom et plasma hvis elektrontettheten er lav nok, dvs. $n_e < \omega^2/56{,}4^2$.

Dersom vinkelfrekvensen er *mindre* enn ω_p, vil plasmaet virke som en god leder og reflektere innfallende bølger. Dette er nettopp grunnen til at ionosfæren muliggjør radiosamband over store avstander ved å reflektere radiosignaler med frekvens mindre enn den kritiske frekvens, som bl. a. avhenger av de daglige variasjonene i elektrontettheten i ionosfæren. «Re-entry blackout» beror også på den samme effekten. ω_p i plasmasjiktet kan være av orden 10^{11} s^{-1} (dvs. bølgelengde $\sim$ 1 mm), svarende til $n_e \sim 10^{19}$ m^{-3}.

Et magnetisk felt vil imidlertid ha stor innflydelse på elektromagnetisk bølgeforplantning i et plasma. Således vil et statisk magnetfelt (på noen hundre gauss) i plasmasjiktet kunne eliminere «re-entry blackout» for frekvenser langt under plasmafrekvensen.

Luftmotstanden bevirker en kraftig oppvarming av nesepartiet til et romskip på vei ned gjennom atmosfæren. Også i denne forbindelse spiller plasmasjiktet en viktig rolle.

Ved å legge et statisk magnetfelt omkring nesepartiet skulle det være mulig å redusere varmeovergangen og dermed den skadelige oppvarmingen av romskipet, samtidig som den effektive luftmotstanden og dermed nedbremsingen blir sterkere.

5.2. *Fremdrift.*

Fremdrift av romskip v. hj. a. *ione-* og *plasmamotorer* synes å være den mest praktiske og effektive metode for lange interplanetariske reiser. Etter at et romskip har overvunnet den sterke gravitasjonskraften omkring en planet, er det ikke lenger behov for en rakettmotor med så stor skyvkraft som kjemiske raketter gir. Det man da trenger er en motor med meget høy spesifikk impuls (definert som forholdet mellom eksoshastigheten og tyngdens akselerasjon), slik at romskipet kan komme opp i stor hastighet med et lavt forbruk av drivstoff. Derved kan forholdet mellom nyttelasten og startvekten økes. Skyvkraften blir til gjengjeld meget liten ($\sim$ 1 g pr. kg rakettvekt), og den større nyttelasten blir betalt med lengre reisetid. Høy eksoshastighet kan oppnås ved å bytte ut de vanlige kjemiske drivstoffer med ioner eller plasma, som akselereres elektrostatisk, henholdsvis elektromagnetisk. Et slikt fremdriftssystem vil måtte bestå av en atomreaktor, en effektiv innretning for omvandling av termisk energi til elektrisk energi (kanskje en MHD- eller termionisk generator) og rakettmotoren selv.

En *ionerakettmotor* består av en ionekilde og en *elektrostatisk* akselerator. Ionekilden må levere ioner av rimelig stor masse (for at skyvkraften skal bli stor nok) med minst mulig energiforbruk. Cesium (eller rubidium) peker seg ut som et gunstig drivstoff p. g. a. sitt meget lave ionisasjonspotensial og samtidig betraktelige tyngde. Ionene kan produseres ved å lede cesium-gass fra en fordamper gjennom opphetet porøs wolfram, som har større arbeidsfunksjon enn cesium. Cesiumatomene avgir derfor lett elektroner til wolfram, og nesten 100 % ionisasjon kan oppnås med denne s. k. kontakt-ionisasjons type av ionekilde. Utblåsing av bare positive ioner ville føre til at romskipet etter hvert ble negativt ladet slik at utblåsingen tilslutt stoppet opp p. g. a. det elektriske romladningsfeltet. For å hindre dette er det nødvendig å nøytralisere eksosen ved å injisere negativt ladede partikler, f. eks. elektroner fra hetefilamenter plasert nær utgangen på akseleratoren. Eksosen skulle på denne måten bli et plasma. Elektronene

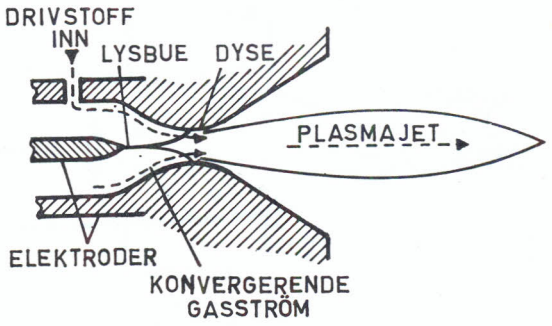


Fig. 2. Plasmalysbuemotor.

vil p. g. a. sin lille masse i forhold til ionene ikke gi noe nevneverdig bidrag til skyvkraften, formålet med dem er utelukkende å oppnå elektrisk nøytralitet. En annen metode er vekselvis akselerasjon av positive og negative ioner, som ville kunne bidra omtrent like mye til skyvkraften. Vanskeligheten er her å finne en passende kilde for negative ioner. I det hele tatt knytter det seg mange teoretiske og tekniske problemer til ionerakettmotoren, særlig når det gjelder nøytraliseringsprosessen og korrosjon og oppheting av akselerator-elektrodene p. g. a. ionebombardement («sputtering»).

Det er også mulig å få høy spesifikk impuls ved å tilføre et nøytralt plasma energi fra et elektromagnetisk felt. Dette kan skje på to måter: ved ohmskoppvarming, som øker den (uordnede) termiske energien i plasmaet, og ved $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$-akselerasjon, som øker den (ordnede) kinetiske energien. Rakettmotorer basert på den første metoden kalles *plasmalysbue-* eller *elektrotermiske* motorer, og er vist skjematisk i fig. 2. En likespenning mellom elektrodene opprettholder en bueutladning. Drivgassen, som helst bør være en inert gass (f. eks. argon) tvinges gjennom lysbuen og blir dermed kraftig oppvarmet. Den varme gassen ekspanderer så i en vanlig Laval-dyse, hvor den termiske energien går over i kinetisk energi hos eksosen. Den spesifikke impuls som kan oppnås med plasmalysbue-motoren er begrenset, fordi den energi som går med til ionisasjon og eventuell dissosiasjon i lysbuen ikke kan gjenvinnes ved rekombinasjon før eksosen har forlatt dysen.

Disse tapene kan minskes og vesentlig høyere spesifikk impuls oppnås, ved $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$-akselerasjon av den hete ($\sim 10^4$ °K) og ioniserte gassen (dvs. plasmaet) fra lysbuen, som da nærmest tjener som en for-varmer. Denne

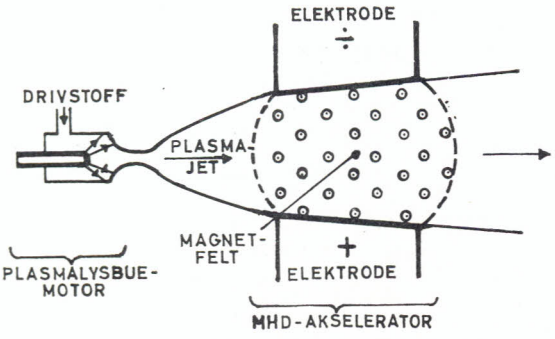


Fig. 3. MHD-akselerator, likestrømdrevet. (Magnetspoler ikke vist på figuren).

typen plasmarakettmotor kan kalles *MHD** eller *magnetisk akselerator* og utføres på forskjellige måter.

En *likestrøms*-drevet, kontinuerlig virkende motor får man ved å sende en strøm gjennom plasmaet via et par elektroder i kontakt med eksosen, slik som antydet i fig. 3. Et statisk magnetfelt loddrett på både strømmen og bevegelsesretningen påtrykkes vha. en magnetspole. Den resulterende $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$- eller Lorentzkraft virker da i bevegelsesretningen. Fordi plasmaet har ohmsk motstand vil det samtidig varmes betydelig opp av strømmen. Akselerasjonsområdet kan derfor utformes som en dyse, slik at den termiske energien også bidrar til en stor eksoshastighet (eksperimenter viser at ca. 5×10^4 m/s kan oppnås). En av de alvorligste ulemper er varmetap til og korrosjon av elektrodene.

I en annen, *vekselstrøm*-drevet versjon av MHD-akseleratoren blir den elektriske strømmen i plasmaet indusert vha. et tidsavhengig vandrende magnetfelt, se fig. 4. På den måten unngår man elektroder i kontakt med plasmaet. Magnetfeltet virker da som et magnetisk stempel, som med stadig økende hastighet skyver plasmaet foran seg. Metoden kan derfor treffende betegnes som *vandrebølge-akselerasjon*. Det er om å gjøre at ledningsevnen er høy, slik at magnetfeltet ikke får tid til å diffundere inn i plasmaet i løpet av akselerasjonsperioden (jfr. «utefrysing» av feltlinjer, s. 66). En motor basert på dette prinsippet vil blåse ut eksosen i pulser. Det er også foreslått andre vekselstrøms-motorer, som vi her ikke kan ta med. Interesserte henvises til ref. (3).

6. Teknologiske anvendelser.

De teknologiske anvendelser er stort sett basert på den s. k. *plasmajet**, som genereres kontinuerlig ved at en gass strømmer under trykk gjennom en likestrømsdrevet lysbue mellom to elektroder. Den ene elektroden er gjerne utformet som en dyse, på samme måte som i den før omtalte plasmalysbuemotor (fig. 2). Plasmajeten, som derved oppstår, forlater dysen med stor hastighet ($10^3 - 10^4$ m/s) og har et høyt entalpi- eller varmeinnhold ($10^4 - 10^5$ kcal/kg) svarende til temperaturer i området 5.000 – 50.000 °K. De eksisterende plasmajetanlegg, som til dels er kommersielt tilgjengelige, har effektforbruk på 1 kW – 10 MW. Induktivt koplede elektrodeløse systemer drevet med høyfrekens er blitt konstruert.

Plasmajeten har tre vesentlige fordeler fremfor den konvensjonelle oksygen-brensel-flammen: Man kan fritt velge den gass eller gassblanding som passer best til et gitt formål. Temperaturen kan bli omtrent 10 ganger høyere enn ved forbrenning i oksygen. Endelig kan varmeovergangstallet fra plasmajeten til det legeme eller det stoff som skal varmes opp, bli mange ganger større enn det er mulig å oppnå med vanlige flammer. Denne siste egenskapen er ofte viktigere enn den høye temperaturen i seg selv.

Plasmabrennere har allerede for flere år siden vunnet innpass i utenlandsk mekanisk og metallurgisk industri. De brukes bl. a. til skjæring, sveising, støping, sprøytepålegging, sfæroidisering, smelting uten oksydering, fraksjonert fordampning og destillasjon m. v. av en rekke materialer og særlig da høytsmeltende metaller og metallforbindelser. Plasma-metodene utmerker seg ved raskhet, god økonomi og fremragende egenskaper hos de ferdige produkter, som i mange tilfelle overhode ikke lar seg fremstille ved konvensjonelle metoder.

Anvendelsene innen den kjemiske teknologi er ennå på det rent eksperimentelle stadium. En rekke lovende forskningsresultater tyder imidlertid på at flere endoterme kjemiske

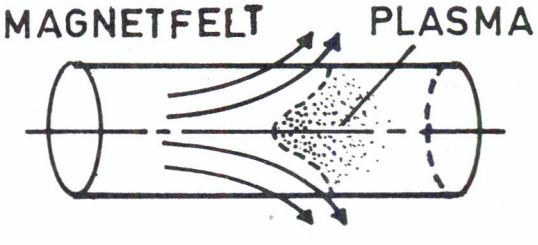


Fig. 4. MHD-akselerator, vekselstrømdrevet vandrebølge-akselerator.

* MHD = magnetohydrodynamisk.

reaksjoner i plasma med temperaturer på 2.000 – 20.000 °K kan få økonomisk betydning i den kjemiske industri. De fordeler man oppnår ved så høye temperaturer er stor reaksjonshastighet og høyt teoretisk utbytte av endoterme (varmeabsorberende) reaksjoner. Skal disse fordelene kunne utnyttes må reaksjonsproduktene bråkjøles (10^7 °K/s) til lav temperatur slik at den gunstige likevektssammensetningen «fryses fast». Dette er et av de mange tekniske problem som må løses tilfredstillende.

Plasmakjemien er ennu lite utforsket. Reaksjonskinetikken blir langt mer komplisert enn i den konvensjonelle kjemi, fordi plasma inneholder fri atomer og radikaler, enkle og komplekse ioner, polymeriserte elementer, m. v. som alle opptrer i eksiterte tilstander (f. eks. H , CH_3 , ACH_4^+, HeH^+, C_3 , – –). (Se Ref. 2).

Forskningsinnsatsen på det plasma-teknologiske område er etterhvert blitt meget betydelig. Således bruker USA årlig 20–30 millioner dollar på dette feltet (som selvsagt ikke omfatter fusjonsforskning og elektroniske anvendelser). En stor del av pengene går til utvikling av hete- og korrosjonsbestandige materialer og komponenter for raketter, romskip, MHD-generatorer og andre tekniske nyskapninger. I denne forbindelse skal også nevnes at plasmaflammer blit mye brukt til simulering av «re-entry»-forhold i hypertermiske vindtuneller.

MHD-generatoren for direkte konvertering av varme til elektrisk energi er en av de viktigste tekniske anvendelser av plasmafysiske prinsipper, nemlig Ohms lov (likning 5). Vi viser her til en artikkel av K. Budal i Fra Fysikkens Verden, Nr. 1, 1962, s. 2, om dette emnet, og nøyer oss med å påpeke at den tidligere omtalte MHD-akselerator vil virke som en generator, hvis man sender en het gass med stor hastighet gjennom den. En elektrisk strøm vil da kunne trekkes ut av elektrodene på bekostning av den kinetiske energien i gasstrømmen.

7. Sluttord.

Plasmafysikkken er et raskt ekspanderende forskningsfelt, som rommer et utall av inciterende problemer og lovende anvendelsesmuligheter, og hvor få virkelig tilfredsstillende løsninger ennå foreligger. Vi har i denne artikkelen kommet inn på noen få av de mange anvendelser plasmafysikken har fått. Fremtiden vil vel bringe løsninger på flere av de uhyre kompliserte vitenskapelige og tekniske problemer, som idag opptar den anvendte plasmaforskning: termonukleær elektrisk kraft med vann som en så og si evigvarende energikilde, MHD- og termoioniske generatorer for direkte omvandling av varme til elektrisk energi, sikre sambandsystemer for romskip under «re-entry»-forhold, plasma- og ionerakettmotorer for bemannede interplanetariske reiser, nye metoder for generering og forsterking av mikrobølger, nye typer av halvledere, kjemiske og metallurgiske industrielle prosesser basert på plasmajetmetoder, og nye problemer og anvendelser, som utvilsomt vil dukke opp i årene som kommer.

En bedre forståelse av de grunnleggende fysikalske egenskaper til plasma under forskjellige forhold er et vilkår for fremskritt på det tekniske område, og kan bare oppnås ved systematiske studier under kontrollerte forsøksbetingelser. Selv om plasmaforskningen domineres av de svære prosjekter i de store land, byr dette mangslungne forskningsfeltet på nok av interessante og betydningsfulle oppgaver, som små land med begrensede resurser med fordel har tatt eller bør ta opp.

[1] *S. Glasstone* and *R. H. Lovberg:* Controlled Thermonuclear Reactions, an Introduction to Theory and Experiment, D. Van Nostrand Co., New York (1960). (Plasmateori og fusjon).

[2] *E. J. Hellund:* The Plasma State, Reinhold Publishing Corp., New York (1961). (Grov oversikt, bl. a. tekniske anvendelser og kjemi, uten matematikk.)

[3] *Proc. IRE* Special Issue on Plasma, Vol. 49, No. 12, 1961. (Mikrobølger, «re-entry»-problemer, fremdrift av romskip.)

[4] *J. B. Adams:* Can we master the thermonuclear plasma? New Scientist, 31 January, 1963.

[5] *Peter Stubbs:* Latest steps toward fusion power, New Scientist, 2 May, 1963.

Forfatter- og innholdsfortegnelsen

kommer i neste hefte.

Bøker

Alf Heimer — Tormod Førland: Elektrisitet — magnetisme — måleenheter, noen nyere synsmåter.

Tormod Førland sier i sitt forord til dette heftet at framstillingen er preget av hans avdøde medarbeiders (Heimers) arbeider innen det teoretiske og praktiske grunnlag for elektromagnetismen.

Det er da kanskje grunn til å tro at det er Førland som har foretatt den konkrete utforming med hensyn til den pedagogiske framstilling og detaljer i innholdet.

En finner ikke hverken i forordet eller ellers noen opplysning om hvilken lesekrets boka er beregnet for, eller hvilket skoletrinn, om lærere eller elever eller begge deler? Sannsynligvis er den tenkt til bruk for realgymnasiets elever og lærere.

Formålet har vært å framholde det nyttige i å bruke nyere synsmåter i tilegnelsen av stoffet. Til tross for denne prisverdige intensjon, er resultatet blitt at man ikke kan tilbakeholde alvorlige innvendinger mot framstillingen. Behandlingen av enheter i teksten er heller ikke up to date.

Side 5 (første side i teksten) tales om to slags elektrisitet, men straks etter forklares de to sorter som «underskudd» og «overskudd» på elektroner. Om atomene sies bare at de ytterste elektroner sitter forholdsvis løst, men ikke like løst hos de forskjellige grunnstoffer.

Det som er hovedinnvendingen mot framstillingen er det at atomenes positivt elektriske kjerner på dette sted ikke nevnes med et ord. Derved blir det (for nybegynneren) umulig å forstå hvordan et legeme kan bli positivt elektrisk p. g. a. «underskudd» på elektroner. Legemene ville jo da bare bli mer eller mindre negativt elektriske, for ikke å snakke om hvor uforståelig atomet med sitt elektronskall vil være for eleven.

Ikke før på side 18 nevnes det at grunnstoffenes atomer består av positive kjerner. Denne opplysning gis først når det er tale om «Strømmens magnetiske virkninger», men da er strømmens kjemiske virkninger allerede ferdigbehandlet. Der har det vært snakk om positive ioner som altså er partikler som har «underskudd» på elektroner, men hvorfor er de positive, når den positive elektrisitet bare er forklart som sådant «underskudd»?

Der legges stor vekt på å forklare magnetisme ved «elektriske strømmer». Side 18, siste avsnitt, spørres det om det ikke var bedre å forsyne magneter med piler som viser amperestrømmens retning, enn å forsyne dem med tegnene N og S. Polene har man «bare bruk for når magneten skal brukes som kompass». Under forordet sies det at man hittil har måttet ha regler «for de enkelte tilfelle», «som høyrehåndsregel, trefingerregel, svømmeregel, korketrekkerregel osv.» Nå skulle alle disse regler kunne erstattes med den betraktningsmåte som redegjøres for på sidene 18 til 23.

For det første behøvet man ikke tidligere å bruke alle de nevnte «regler», det har vært nok med et par av dem. Om den måten som anbefales vil være enklere i *alle* tilfelle er vel tvilsomt, det er vel ikke bare når det gjelder kompass at forestillingen om «poler» letter oversikten. Men dertil kommer at «hypotesen» om rotasjonsstrømmene i vakuum eller i dielektrikum fortoner seg selsom.

I heftet brukes ordet «stoffmengde» i betydningen masse (f. eks. i forordet side 3). Det gjorde jo i sin tid Newton, men i våre dager er ordet «stoffmengde» internasjonalt standardisert i en helt annen betydning.

Når talen er om potensiell energi, som på side 8, burde det uttrykkelig vært nevnt i forhold til hvilket nivå. Det sies at når 5 kg løftes 1,5 m opp, er den potensielle energi 7,5 kilopondmeter — ja men bare i forhold til utgangsposisjonen, og selv om det er selvfølgelig, skulle det av pedagogiske grunner vært nevnt. Pedagogisk riktigst ville det også vært å bruke kraftenheten newton istedenfor kilopond og få energien uttrykt i joule.

Om måleenhetene (side 25) sies at «de andre enheter» er avledet av de fire grunnenhetene i SI-systemet. Her burde da vært nevnt unntakelser såsom «candela» og «grad celsius».

På samme side finner vi at 1 m er definert «som et bestemt antall bølgelengder av en bestemt farge i solspektret». For det første er er bruken ev ordet farge i betydningen spektrallinje, noe som alle vi som steller med fysikk, har lett for å gjøre oss skyldige i. For det annet er det ikke solspektret som kan nyttes når man man vil framstille det lyset som brukes ved meterjusteringen.

Tidsenheten er i heftet definert ved hjelp av «middelsoldøgn». Definisjonen av sekundet bygger ikke på soldøgnet. Middelsoldøgn er ikke konstant, det varierer i tidens løp, og variasjonen er ikke engang jevn. Sekundet er definert som en bestemt brøkdel av «det tropiske år», og da dette heller ikke er konstant, har man valgt det år som faller med en halvpart på hver side av et bestemt valgt tidspunkt som er meget nær nyttårsskiftet 1900. Det er rimelig at man ikke i heftet ville ofre spalteplass på den fullstendige definisjon av sekundet, men en reservasjon med hensyn til relasjonen mellom sekundet og middelsoldøgn skulle tas med hvis middelsoldøgnet skulle nevnes.

I dette avsnitt kommer ordet stoffmengde i newtonsk mening flere steder. Videre sies at «alle kiloloddene utover i verden har også den samme stoffmengde». Man savner en reservasjon med hensyn til nøyaktigheten. Hvorfor kunne det ikke stått «er ment å skulle ha» istedenfor «har også».

På side 26 framstilles det som «normaltyngden» av 1 kg skulle være tyngden på 45° bredde (ved havets nivå er forøvrig ikke skrevet). Nå er forholdet det at både 45° bredde og andre definisjonsmåter (f. eks. stedet for Potsdam observatorium) er forlatt, og det eneste som står igjen er: Der hvor tyngdens akselerasjon er 9,80665 m s^{-2}.

På samme side savnes reservasjon m. h. t. nøyaktighet. F. eks. er ikke 1 kp = 9,81 N eller 1N = 0,102 kp eksakte tall.

I siste linje på side 26 savnes parentes om brøken Nm/s , hvorved 3600 s er skrevet som om det tilhørte nevneren, mens det skal høre til telleren.

På side 27 står at enheten for varmemengde er 1 kalori. I SI-systemet er imidlertid energienheten joule og ikke kalori. Kalori er således ikke lenger den prefererte enhet.

Forfatteren er ikke oppmerksom på at gradtegnet (for celsiusskalaen) skal skrives slik: °C. Bare gradtegn: ° anvendes for vinkelgrader.

Nm bør skrives J (f. eks. linje 10 og 15) når det er tale om energi og ikke kraftmoment.

Amperedefinisjonene «til praktisk bruk» er foreldet og gir ikke den eksakt riktige ampere.

Voltdefinisjonen $1A \cdot 1\Omega$ er uriktig fordi det er er 1 ohm som defineres ved volt og ikke omvendt. 1 V er 1J/1C.

1Ω skulle vært definert som 1V/1A og ikke ved hjelp av den utviklede varmemengde.

Definisjonen av ohm ved hjelp av motstanden i en kvikksølvstreng er foreldet og ikke eksakt.

Jeg skulle tro at heftet kan være nyttig for lærere som leser det med kritikk, de vil kunne ha glede av de intensjoner det har, men for elever som ikke kjenner noe til atomets oppbygning på forhånd, og som ikke er vel inne i bruken av SI-systemet, kan det ikke anbefales til innføring i elektrisitetslæren.

J. Aars.

J. L. Steinberg og J. Lequeux: Radio Astronomy. Oversatt fra fransk av R. N. Bracewell. Electronic Science Series/McGraw-Hill Book Company, 1963. 20 s. Pris 77 sh.

Radioastronomien er i dag en viktig astronomisk forskningsgren. Dens betydning har øket raskt — i samme takt som spesielle tekniske vanskeligheter er overvunnet og konsentrerte studier av rent astrofysiske problemer er muliggjort. Det foreliggende antall avhandlinger over radioastronomiske emner er stort, men vi har fortsatt kun en beskjeden mengde lærebøker og populærfremstillinger. De to franske radioastronomer Steinberg og Lequeuxs bok er derfor et kjært tilskudd til litteraturen.

Bokens første hundre sider gir leseren nødvendige kunnskaper for en dypere forståelse av siste del. Kapitlene omfatter: termisk stråling, enkle radioteleskop, interferometere, spektralobservasjoner og genereringsmekanismer for radiostøy. De grunnleggende begrepene blir klargjort, og det gis en grei innføring i radioastronomisk teknikk.

I bokens annen del får man en god oversikt over de resultater observasjoner av radiostøy fra verdensrommet har gitt. Samtidig presenteres også de mest plausible interpretasjoner av observasjonene. Den solare radioastronomi blir spesielt grundig behandlet, hvilket faller naturlig da den franske forskningsgruppe som forfatterne tilhører nettopp på dette området har gitt betydelige bidrag. En liten innvending er at det vises en viss forkjærlighet for å trekke frem franske arbeider, men det kan tilgis fordi arbeidene er av høy kvalitet. I de neste kapitlene følger så radiostråling fra månen og planetene, galaktisk radioemisjon, galaktiske radiokilder og ekstragalaktiske radiokilder.

Boken presenterer de forskjellige emner på en grei og sympatisk måte. Illustrasjonene er meget gode. Forfatterne har konsentrert fremstillingen om de store linjer og latt detaljene ligge. Derved har man vunnet i klarhet og stoffet er blitt mer oversiktlig. Hvert kapitel er fulgt av litteraturhenvisninger. Litteraturlisten viser som oftest til rent faglige artikler og bøker, men i enkelte tilfeller er også populære fremstillinger tatt med.

Boken har et nyttig stikkord-register, og trykk og innbinding er upåklagelig. Den er velegnet som lærebok på de mer elementære trinn i universitetsundervisningen, men kan også med fordel leses av enhver fysiker som ønsker å orientere seg om utviklingen innen et nytt og spennende forskningsområde.

Øystein Elgarøy

S. C. Frautschi: Begge Poles and S-Matrix Theory. W. A. Benjamin, Inc. (1963) 200 sider $ 4.35, innb. $ 8.80.

Det er vel nokså karakteristisk for elementærpartikkelfysikken at jamvel ein bokserie som «Frontiers in Physics» somtid kan ha vanskar med å halda seg heilt framme på frontlina. Berre på den tida det tar å gje ut ei bok, hendar mykje på dette feltet, ikkje minst i den noko springande jakta etter eit brukbart teoretisk grunnlag. Reggepolane gav store voner kring 1962, og Frontiers in Physics har publisert ikkje mindre enn tre bøker med Reggepolar som sentrale tema. Sams for dei er at dei er bygde på førelesningar haldne kring 1962 og trykte i 1963. Framstillingane er difor for det meste nokså optimistiske, medan nokre sluttmerknader fører inn ein meir reservert tone, ettersom meir fullstendig eksperimentelt materiale ikkje lenger samsvara med dei enklaste former for Reggepolteori. Mange fysikarar har difor heilt mist trua på nytta av Reggepolar, så ein kan vel ikkje venta at desse bøkene får ein like vid og brennhuga lesarskare som dei ville ha gjort for to år sidan. Derimot skulle dei vera gode kjelder for den som i objektiv ettertanke vil finna ut kva det heile går ut på, og mykje av innhaldet er sjølvsagt uavhengig av motestraumar.

Frautschi's bok er skriven for teoretikarar (i motsetnad til t. d. boka til Omnès og Froissart i same serien), og uinnvigde må difor rekna med ein del strev for å koma gjennom henne. Mandelstam-representasjonen og Reggepolar i urelativistisk og relativistisk spreiing får ei grundig gjennomgåing, og boka endar med å drøfta om alle partiklar med sterk vekselverknad er samansette. Ei nærare drøfting av kva som er rett og gali i alt dette, ser eg meg nøydd til å utsetja nokre år!

Helge Øverås.

Kosmos 1963.

Svenska Fysikersamfundets årbok Kosmos, Bd. 41 (1963) foreligger nå til anmeldelse. Bindet innledes med en notis om nobelpristakerne i fysikk 1963 og deres arbeider. Deretter følger en temmelig omfattende (30 sider) minneartikkel om Niels Bohr, skrevet av Torsten Gustafson. Her får vi interessante streiflys, såvel over en stor fysikers liv og innsats, som over atomfysikkens historie i et tidsrom av 50 år i vårt århundre. Mange lesere vil sikkert finne at dette bidrag er det de har mest glede av i boken.

De øvrige åtte artikler behandler aktuelle problemer innen dagens fysikk og dens anvendelser. De som interesserer seg for den praktiske utnyttelse av kjernenergien, vil ha utbytte av redegjørelsen for kjernekraft-varmeverket i Ågesta. En beskrivelse av et bestemt svensk anlegg får vi også i artikkelen om Råø-observatoriets radioteleskop. Forøvrig har vi å gjøre med oversiktsartikler av mer generell art. De temaer som tas opp, er: Den vibrerende kondensator og dens anvendelser. Elektroner i metaller. Kosmisk stråling. Nøytrinofysikk. Gnistkammeret. De nye resonanspartiklene.

Som man ser har vi å gjøre med et mangesidig utvalg blant tidens aktuelle temaer. Alle artikler er greit og oversiktlig skrevet og forsynt med instruktive figurer. Bindet er stimulerende lesning både for spesialisten som vil kaste et blikk utenfor sin egen sektor, og for andre som har interesse av å orientere seg i tidens rivende utvikling innen fysikken.

Njål Hole.

P. T. Matthews: Introduction to Quantum Mechanics. McGraw-Hill Publishing Company Ltd., Maidenhead Berkshire, pris 25s.

Svært ofte, alt for ofte, kommer det ut lærebøker i fysikk som baserer seg på forfatterens forelesninger «som har vært gitt for studenter i løpet av de siste år». Nesten like ofte er det ferdige produkt lite vellykket simpelt hen fordi forfatteren ikke har ofret nok tid på gjennomarbeiding av forelesningsmanuskriptet.

Den foreliggende bok danner ingen undtagelse. Man kan tydelig merke forelesningsmanuskriptet gjennom hele boken. Stilen er knapp, de fleste av de muntlige forklaringene som forfatteren måtte ha ledsaget sin tavleskriving med er ikke kommet med i boken. Boken utgjør en noenlunde brukbar formelsamling for elementær kvantemekanikk og kan som sådan antagelig kunne komme til anvendelse for den som skal forelese et slikt kurs. Jeg tror derimot ikke at boken kan bibringe den unge student noen forståelse av kvantemekanikken.

Haakon Olsen.

Pierre Teilhard de Chardin: Fenomenet menneske. En fakkelbok 233 p. Kr. 12,50. Gyldendal Norsk Forlag.

De Chardin var jesuittpater og filosof, dessuten en berømt geolog og paleontolog. Foreliggende bok som vel må sies å være hans filosofiske hovedverk, ble i det vesentlige til i Kina under hans studier der, og fikk sin endelige utforming under den annen verdenskrig. I 1948 reiste de Chardin til Rom, for å få den katolske kirkes tillatelse til å utgi boken, men han hadde ikke hellet med seg. Først etter hans død i 1955 ble boken trykket.

Bevissthetsfenomenet som har utviklet seg hos dyr i i alminnelighet og hos mennesker i særdeleshet, regnes av Darwin for en sekundær og tilfeldig funksjon av materien. Dette er en fordom som henger igjen fra den klassiske fysikk, mener de Chardin. «Fenomenet menneske» er et forsøk på å bringe de biologiske grunnforestillinger i overensstemmelse med det verdensbilde som den moderne fysikk har skapt. Hvorvidt dette har lykkes på en tilfredsstillende måte, kan vanskelig vurderes av en ikke fagmann. Men dette forhindrer ikke at jeg har lest boken med stor interesse. De meninger og teorier som fremlegges, tvinger en ofte til å se menneskets plass i verden under nye og uvante perspektiver.

Dersom det var meningen at denne billigboken skulle nå ut til et større publikum, burde den nok ha vært utstyrt med forord eller kommentarer som nærmere presiserte de Chardin's meninger Han selv skriver temmelig utflytende, og presiserer sjelden hva han vil ha frem, slik at det for ikke fagfolk ofte er vanskelig å få en helt klar forståelse av hva som er ment.

Lorentz Eckhoff oversettelse er det neppe noe å utsette på.

K. J. Knutsen.

V. F. Weisskopf: Vitenskapens verdensbilde. Oversatt av Hedvig Wergeland. Cappelens Realbøker, 1964.

Boken gir et oversyn over den forståelse av naturfenomenene som den senere tids vitenskap har gitt oss. Materialet som behandler er meget omfattende, og forfatteren skal roses for at han har greid å fremlegge stoffet på en så klar og lettlest måte. Bokens forfatter er som kjent fysiker, og fysikken er da også den vitenskapsgren som gis den mest omfattende behandling. Men også kjemiske og biologiske fenomener omtales, og det er lagt vekt på å påvise den sammenheng som eksisterer mellom de forskjellige grener av vitenskapen.

Den eneste innvending anmelderen har mot oversettelsen, er at «strange particles» er oversatt med «fremmede partikler». Ordet «strange» bør vel her heller oversettes med «merkelig», «rar» el. lign.

Boken ble i 1962 tildelt Edison-prisen som årets beste populærvitenskapelige bok. Den er også utkommet på dansk i serien «Gyldendals Kvantebøger», under titelen «Viden og Undren».

Arne Reitan.

P. Nozieres: Theory of Interacting Fermi System. Benjamin 1964. Oversatt fra fransk av D. Hone. 370 sider. Pris ca. kr. 130,—.

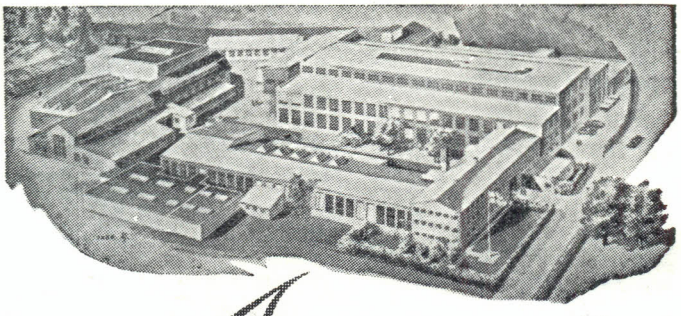
Som kjent har vi i det siste tiår hatt en rivende utvikling med hensyn til den matematiske behandling av det kvantemekaniske mange-partikkel problem, slik det fremtrer i kjernefysikk, plasmafysikk og solid-state fysikk. Dette henger for en stor del sammen med at begreper og metoder fra kvantefeltteorien er tatt i bruk og ført videre. Nozières' bok er en av de mange bøker om mange-partikkel systemer som er kommet i løpet av de siste 2 – 3 årene.

Boken gjør ikke krav på å gå i bredden. Den handler kun om fermionsystemer, og bare forholdene ved det absolutte nullpunkt. Forfatteren gir ingen oversikt over eksperimentelle kjensgjerninger, men konsentrerer seg utelukkende om de matematiske metoder. «It makes the presentation quite dry», sier han i et forord, og har nok rett i det. Men en må beundre hans energi og utholdenhet, og hans evne til å trenge meget dypt ned i stoffet.

De to første kapitler handler om Landaus delvis fenomenologiske teori for Fermivæsker, og om ytre eksitasjoner. I kapitel 3 og 4 lærer vi om Greensfunksjoner for en og to partikler, og i kapitel 5 og 6 om perturbasjonsteori. Stor vekt er lagt på bruken av diagrammer. I kapitel 7 blir perturbasjonsmetoden generalisert til superfluide systemer. I appendiks finner vi bl. a. Wicks teorem og et utmerket avsnitt om overgangen til annen-kvantisering.

Boken bør neppe anbefales til dem som «bare» ønsker en generell innføring i mange-partikkel fysikk. Dertil er den altfor spesiell. Den representerer et vertikalt snitt forsåvidt som den gir en inngående behandl.ng av et begrenset emne. Derimot er boken sikkert meget verdifull for dem som arbeider med den matematiske teori for «infinite systems of interacting fermions at zero temperature.»

Erik Eriksen.



Fra vårt fabrikk-anlegg i Oslo··· leverer vi:

Transformatorer for de største kraftanlegg, — til de minste fordelingstransformatorer av den typen som man kan se i ledningsstolpene landet over.

Elektra elektrovarmeapparater, — fra damp-kjeler til komfyrer, vannvarmere, panelovner o.s.v.

Vi representerer:

ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget), som fremstiller alt materiell på sterkstrømsområdet.

A/S Per Kure

Oslo - Bergen - Hamar - Kristiansand S - Larvik - Stavanger - Tromsø - Trondheim

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Professor dr. Sverre Westin

Styre: Professor dr. Njål Hole
Direktør O. Chr. Böckman
Professor dr. Anders Omholt
Professor dr. Harald Trefall

Selskapets sekretær: Ingerid Woldhaug,
Fysisk Institutt, N. T. H.
Trondheim

Postgirokonto: 88388 Bankgirokonto: 236880 - 285

Fra Fysikkens Verden

Redaktør: Professor dr. Haakon Olsen, N. T. H.

Redaksjonskomite: Rektor Finn Berntsen, Sverresborg skole, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer Universitetet, Blindern.
Dr. philos. Tormod Riste, Institutt for Atomenergi. Kjeller.
Professor Steingrim Skavlem, Universitetet i Bergen.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genéve.

Problemspalten: Siv.ing. Richard R. Solem, N. T. H.

Teknisk medarbeider: Laboratorieing. Halvard Torgersen, N. T. H.

Annonser: Laboratorieing. Halvard Torgersen, N. T. H.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 15,—. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 10,—

Ekspedisjonens adresse:, Fra Fysikkens Verden,
Fysisk Institutt, N. T. H. Trondheim.

Postgirokonto: 10472 Bankgirokonto: 236545-285

GYMNASIASTER OG STUDENTER!

Dere kan få

Fra Fysikkens Verden

til redusert pris: kr. 10,— pr. år.

Abonnement kan tegenes enten ved postverket

eller ved direkte henvendelse, se adressen ovenfor.

Aktietrykkeriet i Trondhjem